

SÉRIE A, N° 1069

N° D'ORDRE :

1912

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

E. BODIN

Agrégé des Sciences Physiques.
Inspecteur d'Académie du Morbihan

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ÉMISSION DE RADIATIONS DE COURTE LONGUEUR D'ONDE PAR LES CORPS FAIBLEMENT CONDUCTEURS.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 2^e Novembre 1926 devant la Commission d'examen.

MM. COTTON..... *Président.*

AUGER..... } *Examineurs.*
DEBIERNE..... }

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1926

SÉRIE A, N° 1069
N° D'ORDRE :
1912

THÈSES

PRÉSENTÉES

À LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

E. BODIN

Agrégé des Sciences Physiques.
Inspecteur d'Académie du Morbihan.

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ÉMISSION DE RADIATIONS DE COURTE LONGUEUR D'ONDE PAR LES CORPS FAIBLEMENT CONDUCTEURS.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 26 Novembre 1926 devant la Commission d'examen.

MM. COTTON..... *Président.*

AUGER..... } *Examinateurs.*
DEBIERNE..... }

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1926

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen..... M. MOLLIARD, *Professeur*, Physiologie végétale.

Doyen honoraire.... P. APPELL.

Profess. honoraires.. { P. PUISEUX.
BOUSSINESQ.
A. JOANNIS.
H. LE CHATELIER.
H. LEBESGUE.
A. FERNBACH.

<i>Professeurs</i>	E. PICARD.....	Analyse supér. et algèbre supérieure.
	KOENIGS.....	Mécanique physique et expérimentale
	GOURSAT.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	JANET.....	Electrotechnique générale.
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie.
	PAINLEVÉ.....	Mécanique anal. et mécanique céleste.
	HAUG.....	Géologie.
	G. BERTRAND.....	Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE.....	Physique générale et radioactivité.
	CAULLERY.....	Zoologie (Evolution des êtres organisés)
	C. CHABRIÉ.....	Chimie appliquée.
	G. URBAIN.....	Chimie minérale.
	ÉMILE BOREL.....	Calcul des probabilités et phys. mathém.
	MARCHIS.....	Aviation.
	JEAN PERRIN.....	Chimie physique.
	ABRAHAM.....	Physique.
	CARTAN.....	Géométrie supérieure.
	LAPIQUE.....	Physiologie générale.
	VESSIOU.....	Théorie des groupes et calc. des variat.
	COTTON.....	Physique générale.
	DRACH.....	Application de l'analyse à la géométrie.
	C. FABRY.....	Physique.
	CHARLES PÉREZ.....	Zoologie.
	LEDUC.....	Physique théorique et phys. céleste.
LÉON BERTRAND.....	Géologie appliquée et géolog. régionale.	
LESPIEAU.....	Théories chimiques.	
RABAUD.....	Biologie expérimentale.	
PORTIER.....	Physiologie comparée.	
E. BLAISE.....	Chimie organique.	
DANGEARD.....	Botanique.	
MAURAIN.....	Physique du Globe.	
MONTEL.....	Mécanique rationnelle.	
WINTREBERT.....	Anatomie et histologie comparées.	
DUBOSCQ.....	Biologie maritime.	
JULIA.....	Mathématiques générales.	
JOB.....	Chimie générale.	
N.....	Géographie physique.	
N.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).	

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

HÉROUARD.....	Zoologie.
RÉMY PERRIER.....	Zoologie (Enseignement P. C. N.).
SAGNAC.....	Physique théorique et physique céleste.
PECHARD.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).
AUGER.....	Chimie analytique.
M. GUICHARD.....	Chimie minérale.
GUILLET.....	Physique.
MAUGUIN.....	Minéralogie.
BLARINGHEM.....	Botanique.
MICHEL-LEVY.....	Pétrographie.
DEREIMS.....	Géologie.
DONGIER.....	Physique du globe.

Secrétaire..... D. TOMBECK.

A

MONSIEUR G. REBOUL

Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

PREMIÈRE THÈSE

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ÉMISSION DE RADIATIONS DE COURTE LONGUEUR D'ONDE PAR LES CORPS FAIBLEMENT CONDUCTEURS

On trouvera dans ce mémoire l'exposé des recherches que j'ai faites en 1923, 1924, 1925 sur l'émission de radiations de courte longueur d'onde par les corps faiblement conducteurs, de constitution physique hétérogène, dans lesquels on crée des différences de potentiel convenables.

Je me suis attaché à étudier surtout ce qui peut renseigner sur le mécanisme de l'émission. Après avoir repris l'étude de la variation avec le temps de l'intensité du phénomène pour une différence donnée de potentiel, puis celle du coefficient d'absorption dans l'air à la pression ordinaire, j'ai été amené à rechercher pour différentes substances la différence minima de potentiel pour laquelle se produit l'effet et à mesurer pour chacune la fatigue et le coefficient d'absorption des radiations émises.

L'étude de l'intensité qui traverse les corps mis en expérience m'a paru susceptible de jeter quelque lumière sur le phénomène. Elle a permis de constater que cette intensité n'est pas constante pour une même différence de potentiel appliquée. Elle diminue en général très vite et considérablement avec le temps, de plus elle augmente quand la différence de potentiel augmente, sans que la loi d'Ohm lui soit applicable.

Enfin la recherche de la répartition des potentiels dans la masse conduit à admettre qu'il se produit au contact du corps et des électrodes qui amènent le courant des chutes de potentiel notables, dont l'existence permet une explication de l'émission en rattachant ce phénomène à l'émission de radiations par projection d'électrons.

Après un résumé des travaux déjà faits sur cette question, on trouvera, exposés en 5 chapitres, les résultats de mes recherches et un essai d'interprétation.

Chapitre I. — Etude simultanée de la fatigue à l'émission et des variations du coefficient d'absorption pour les radiations émises par le papier d'abord immergé dans l'acide sulfurique très étendu puis séché à l'air.

Chapitre II. — Recherche de divers corps capables d'émettre le rayonnement, et, pour quelques uns, étude de la fatigue et du coefficient d'absorption.

Chapitre III. — Etude de la résistance des substances en expérience, ou plutôt de l'intensité qui les traverse en fonction du temps et de la différence de potentiel appliquée.

Chapitre IV. — Répartition des potentiels dans la masse des corps sous tension, mise en évidence d'une discontinuité au contact des électrodes.

Chapitre V. — Dans ce dernier chapitre j'ai essayé une explication théorique des caractères des radiations émises et des particularités du phénomène. De nouvelles expériences de mesures ont confirmé cette explication.

Ces recherches ont été faites au Laboratoire de Physique de la Faculté des Sciences de Poitiers.

Je suis heureux de remercier ici M. Reboul à qui je dois l'idée de ce travail, de précieux conseils, et un excellent accueil dans son service.

INTRODUCTION

Travaux antérieurs.

En 1920, M. Reboul (1) découvrit et étudia une propriété singulière présentée par une feuille de papier lorsque l'on établit entre deux de ses points une différence de potentiel de quelques centaines de volts.

Cette feuille devient, dans ces conditions, capable d'impressionner la couche sensible d'une plaque photographique placée à son contact ou à son voisinage immédiat.

L'étude systématique de l'effet conduisit aux conclusions suivantes.

1° Deux conditions sont nécessaires à sa production : le corps mis en expérience doit être conducteur, mais faiblement conducteur, de plus il doit être physiquement hétérogène ou présenter des discontinuités superficielles. Ainsi les isolants ou les métaux ne produisent aucun effet photographique ; le papier glacé, assez homogène, et faiblement conducteur ne donne d'action que dans le voisinage des électrodes, mais si l'on y fait des incisions superficielles, qui créent des discontinuités, on constate que la plaque est impressionnée dans le voisinage des points où l'on a fait des incisions.

2° Diverses hypothèses par lesquelles on pourrait expliquer l'effet, doivent être rejetées, telles les suivantes :

a) Le passage du courant, produisant une électrolyse de l'eau ou des sels contenus dans le papier, les gaz dégagés impressionneraient la couche sensible par simple contact. Cette explication exigerait en effet que le dégagement gazeux se fit dans la masse du papier, et ne rendrait pas compte de

(1) REBOUL, *C. R.*, t. CLXXI, 1920, p. 1502 ; t. CLXXII, 1921, p. 210 ; t. CLXXIII, 1921, p. 1162 ; t. CLXXIV, 1922, p. 1452. ; *Journal de Physique*, 6^e série, t. III, 1922, p. 341.

l'influence des incisions superficielles ; de plus l'action se produit à travers une lame mince de quartz ou de fluorine disposée de manière à supprimer tout contact des gaz avec la couche sensible.

b) Il se produirait des aigrettes qui impressionneraient la plaque sensible. Cette explication est à rejeter également, l'effet se manifestant pour des différences de potentiel de 200 volts très insuffisantes pour la production d'aigrettes. L'œil d'ailleurs n'aperçoit aucun phénomène lumineux, enfin, l'impression ne se produit pas à travers une lame de mica de 0 mm. 1 alors que des étincelles microscopiques donneraient une impression à travers cette lame.

L'impression de la plaque est due à des radiations beaucoup plus absorbables par l'air que ne le sont la lumière de l'étincelle ou de l'aigrette. Une couche d'air de 2 millimètres à la pression ordonnaire suffit à empêcher l'impression de la plaque. De plus le gaz environnant le corps faiblement conducteur que traverse un courant est ionisé, et si l'on fait des mesures, on constate que l'aiguille de l'électromètre se déplace d'un mouvement continu, tandis que dans le cas d'aigrettes ou d'étincelles elle avance par saccades. Cette ionisation est confinée au voisinage immédiat de la surface du corps mis en expérience.

M. Reboul propose de l'effet l'explication suivante : « Tout
 « se passe comme si les charges mises en jeu par le courant
 « provoquaient l'apparition de chutes de potentiel aux points
 « où il y a discontinuité de résistance par suite, soit de la
 « présence de rayures, soit de l'existence d'hétérogénéités.
 « Ces chutes de potentiel seraient suffisantes pour produire
 « des décharges disruptives dans le corps ou dans le milieu
 « gazeux environnant. Les décharges ainsi produites seraient
 « accompagnées de l'émission d'un rayonnement très absor-
 « bable, qui, comme les radiations ultra-violettes et les
 « rayons X agirait sur la plaque photographique ».

Cette représentation mécanique admise, on peut se faire une idée de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de ce rayonnement.

Soit V la chute de potentiel créée dans le conducteur où il y a une hétérogénéité ou une rayure superficielle, e , la charge élémentaire de l'électron. Supposons que les décharges se produisent dans les couches d'air qui avoisinent le conducteur, et admettons que la formule de Planck soit applicable. En franchissant une chute de potentiel les électrons acquièrent une certaine énergie dont la perte, par le choc sur l'un des bords de la coupure sera accompagnée d'une émission de radiation de fréquence n .

$$Ve = hn \quad (h = \text{C}^{\text{te}} \text{ de Planck}).$$

L'impression photographique permet de compter approximativement le nombre de discontinuités et par là la valeur moyenne de V . Avec une tension d'un millier de volts appliquée à du papier à grosses fibres, on a trouvé V de l'ordre de 50 volts, d'où $\lambda = 240$ angströms environ.

Ce résultat a été confirmé ultérieurement, au moins quant à l'ordre de grandeur de λ .

Les expériences poursuivies en 1922 ont confirmé que le rayonnement considéré est au moins en partie de nature électromagnétique et non de nature seulement corpusculaire. Si on lui fait traverser l'espace compris entre deux toiles métalliques entre lesquelles on établit un champ électrostatique capable de s'opposer au passage des charges, quelle qu'en soit l'origine, on constate qu'au delà de la 2^e grille le gaz est encore ionisé. Le rayonnement a donc traversé les deux grilles.

Si l'on étudie la marche de l'ionisation au voisinage de la cellule à rayonnement, on constate que la valeur des charges extraites dans des temps égaux diminue quand augmente la

durée du passage du courant et semble tendre vers une limite. Il y a donc une fatigue à l'émission.

Si l'on fait varier le champ extracteur, les charges extraites augmentent avec ce dernier, mais moins vite que lui, sans que l'on arrive nettement à un courant de saturation. Pour faire des extractions dans des conditions comparables, il faut donc attendre que la fatigue se soit produite et employer toujours le même champ extracteur.

Cette dernière considération a son importance dans la détermination des coefficients d'absorption.

Si, dans la chambre d'ionisation on maintient le champ extracteur constant en volts/cm. et que l'on augmente la distance du plateau extracteur à la cellule à rayonnement, on constate que les charges extraites croissent avec la distance jusqu'à une certaine limite atteinte pour une distance de 4 à 5 millimètres. Ces résultats s'interprètent en admettant que l'énergie du rayonnement absorbé par le gaz sert à l'ioniser : les charges augmentent alors (pour un même temps d'extraction) avec l'épaisseur de la couche traversée, pour devenir constantes quand l'absorption est complète.

J_0 étant l'intensité du rayonnement à l'origine

J_x l'intensité après un parcours de x cm.

l'équation

$$J_x = J_0 e^{-\mu x}$$

définit le coefficient d'absorption μ de la radiation supposée homogène.

Si I_∞ est l'intensité du courant d'ionisation correspondant à une absorption totale du rayonnement et I_x l'intensité de ce courant quand l'épaisseur de gaz soumise au rayonnement est x cm. on a :

$$I_x = I_\infty (1 - e^{-\mu x})$$

On mesure donc I_x correspondant à une épaisseur x et I_∞

correspondant à une épaisseur de 5 à 6 mm., la formule précédente permet de calculer μ .

μ rapporté au cm. est de l'ordre de 15 unités.

μ varie avec la fatigue de la cellule, en diminuant de quelques unités, quand on prolonge l'expérience.

Lorsque dans les mesures de μ on fait croître x c'est-à-dire quand on fait les mesures pour une couche d'air plus épaisse on constate que μ diminue, ceci conduit à admettre que le rayonnement est complexe, les radiations les plus pénétrantes (μ plus faible) allant naturellement les plus loin.

La valeur de μ a permis de déterminer l'ordre de grandeur de la longueur d'onde des radiations étudiées. M. Holweck ⁽¹⁾ a déterminé les coefficients d'absorption correspondant aux radiations de diverses longueurs d'onde pour une portion du spectre compris entre l'ultra-violet de Schuman et les rayons X.

Si ρ est la masse spécifique du gaz, λ la longueur d'onde, on a, dans l'azote :

$$\frac{\mu}{\rho} = 0,8 \lambda^{2,5}$$

et dans l'oxygène :

$$\frac{\mu}{\rho} = 1 \lambda^{2,5}.$$

On peut admettre pour l'absorption par l'air une équation de la même forme, avec un coefficient compris entre 0,8 et 1.

Pour $\mu = 17$ on trouve que λ doit être compris entre 49 et 45 Angströms. Pour $\mu = 10$ on a $35 < \lambda < 39$.

Mais l'équation de M. Holweck ainsi que les courbes qu'il a données ne se rapportent qu'à la région du spectre la plus proche des rayons X mous, dans laquelle μ croît avec λ . Or on sait que dans l'ultra-violet extrême μ diminue quand λ croît. La courbe de Holweck prolongée présenterait donc une branche descendante, de sorte qu'à une valeur donnée de μ

(1) HOLWECK. *Thèse de doctorat*, Paris, 1922.

correspondent deux valeurs de λ . L'une de ces valeurs possibles est celle dont le calcul précède ; l'autre peut être déterminée grâce à l'étude faite par M. Holweck de l'absorption de la radiation par le celluloïd. Cette étude est plus complète que pour les gaz, et la courbe qui en traduit les résultats présente une branche ascendante, un maximum correspondant à $\lambda = 350$ U. A. puis une branche descendante.

Le coefficient d'absorption massique $\frac{\mu}{\rho}$ (ρ = densité), déterminé par M. Reboul pour les radiations étudiées traversant de minces lames de celluloïd est de l'ordre de $1,2 \times 10^5$. La courbe de Holweck assigne dès lors à λ une valeur voisine de 350 Angströms, et exclut les valeurs de l'ordre de 40 à 50 U. A., car à ces dernières correspondent des coefficients d'absorption par le celluloïd variant entre 6×10^3 et $2,5 \times 10^3$.

En résumé, on admet que le rayonnement émis par le papier sous tension est complexe et formé de radiations dont la longueur d'onde moyenne est voisine de 350 Angströms.

CHAPITRE PREMIER

Etude simultanée de la fatigue et du coefficient d'absorption.

a) **Appareil.** — L'appareil utilisé dans cette première partie des recherches est celui qui a été employé dans les travaux antérieurs (fig. 1) ⁽¹⁾.

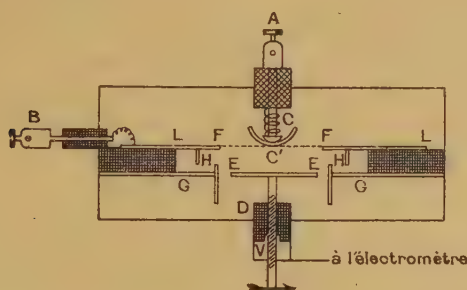


Fig. 1.

La cellule productrice du rayonnement et la chambre d'ionisation sont contenues dans une enceinte parallélépipédique de cuivre mise au sol. Le corps mauvais conducteur est placé en C sur une grille métallique qui ferme une fenêtre circulaire percée dans une lame L et maintenue à son contact par un piston à ressort lié à la borne A. La lame L est en relation avec une borne B. Ainsi le corps mauvais conducteur, ici une petite rondelle en papier, est placé entre deux électrodes : la grille et le piston à ressort ; les bords de la rondelle sont relevés vers le haut pour éviter des contacts mal

⁽¹⁾ *Journal de Physique*, 6^e série, t. III, 1922, page 341.

définis, autres que les contacts de papier-piston et papier-grille. Quand on établit une différence de potentiel entre les électrodes, le courant passe dans la cellule, et l'air, dans le voisinage de la grille, est ionisé. La chambre d'ionisation est la partie de l'appareil située au-dessous de la grille.

L'électrode collectrice E est en relation avec l'électromètre. Cette électrode est portée par une tige filetée vissée dans un écrou V qui est lui-même isolé par un bouchon d'ébonite D. On peut rapprocher ou éloigner E de la grille métallique F et mesurer les déplacements par le nombre de tours que l'on fait faire à l'électrode. Le pas de la vis mesure 0 mm. 77.

L'électrode collectrice est protégée par un anneau de garde G mis au sol, et des chicanes H portées par la lame L, qui la mettent à l'abri des effets d'influence pouvant provenir des cales d'ébonite. Elle est en relation par un fil sous écran métallique au sol avec l'une des paires de quadrants de l'électromètre.

La différence de potentiel entre A et B (tension appliquée) est établie au moyen d'une batterie de petits accumulateurs. Ces accumulateurs sont réunis par séries de 45 éléments dans des boîtes parallélépipédiques où ils sont maintenus en place par des cadres d'ébonite et isolés par un bain d'huile. Chaque boîte présente entre ses bornes une différence de potentiel de 90 volts.

Un champ électrostatique créé entre la grille et l'électrode E permet d'étudier l'ionisation au voisinage de F. Ce champ extracteur est produit au moyen d'une autre batterie d'accumulateurs, dont l'un des pôles est au sol, et l'autre relié à la borne B. On peut, par des changements apportés à cette batterie, faire varier le champ extracteur.

L'électromètre employé, modèle Debierne est un appareil à quadrants renfermé dans une cage métallique au sol. L'aiguille est portée à un potentiel constant par une batterie de petits accumulateurs. L'une des paires de quadrants est au

sol d'une façon permanente; l'autre, qui est en relation avec l'électrode collectrice E est au sol dans l'appareil au repos, mais peut être isolé par la suppression d'un contact C commandé par un électro. Les déviations sont lues par la méthode de Poggendorff. Dans les conditions des mesures, à une différence de potentiel entre les quadrants de $1/1\,000$ de volt correspond une déviation sur l'échelle de $1/2$ mm. La capacité de l'appareil étant de quelques unités électrostatiques, cette déviation correspond à une charge de l'ordre de 10^{-14} Coulomb.

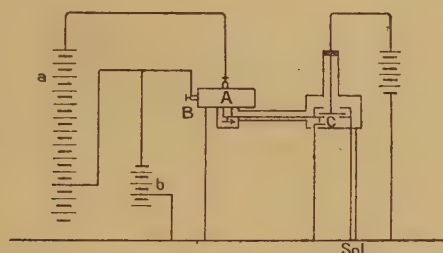


Fig. 2.

Le contact C étant supprimé, le champ extracteur créé dans la chambre d'ionisation par la batterie *b* entraîne sur l'électrode collectrice les ions d'un certain signe. L'électrode, ainsi que la paire de quadrants primitivement au sol, se charge à un potentiel croissant qui est accusé par le déplacement continu du spot sur l'échelle graduée. Le déplacement pendant un temps déterminé mesure le courant d'ionisation.

b) **Méthode.** — L'étude de la fatigue à l'émission, c'est-à-dire de la variation d'intensité du rayonnement en fonction du temps se fera en mesurant à des temps connus, de minute en minute par exemple, ou de 2 en 2 minutes, l'intensité totale du rayonnement. L'électrode collectrice sera pour cela mise à une distance de la cellule telle que le rayonnement soit complètement absorbé par la couche d'air traversée, ce qui

est pratiquement réalisé pour une distance de 6 à 7 mm., tout éloignement supérieur n'entraînant aucun changement des résultats. Le champ extracteur est maintenu constant pendant toute la durée des expériences. On détermine alors combien il faut de temps pour que la déviation de l'électromètre, qui mesure la charge des ions captés corresponde à un nombre donné de divisions de l'échelle. C'est évidemment l'inverse de ce temps, qui donne, en unités arbitraires l'intensité du rayonnement.

Les résultats peuvent être traduits par des courbes en portant en abscisses les temps et en ordonnées les intensités dont il vient d'être question. On trouve des courbes rapidement descendantes pendant les premières minutes, puis dont les ordonnées décroissent ensuite beaucoup plus lentement.

La détermination des coefficients d'absorption consiste, en principe, à mesurer l'intensité I_x du courant d'ionisation, pour l'électrode placée à une distance x de la grille et l'intensité I_∞ pour une position de l'électrode telle que tout le rayonnement soit absorbé puis à appliquer la formule :

$$\mu = \frac{2,30}{x} \log \frac{I_\infty}{I_\infty - I_x} \quad (1).$$

Le champ extracteur, en volts/cm. est maintenu constant par une modification convenable apportée à la batterie b .

Or, les deux mesures d'intensité ne pouvant être faites simultanément, il y a lieu de tenir compte de la fatigue, d'où la nécessité de faire plusieurs mesures croisées : on mesure I'_x pour $x = 1$ mm. par exemple, puis I'_∞ pour $x = 8$ mm., puis de nouveau I''_x pour $x = 1$ mm. et I''_∞ pour $x = 8$ mm. et ainsi de suite, on fait la moyenne des valeurs I'_x , I''_x ... celle

(1) Cette formule utilise les logarithmes décimaux. Le facteur 2,30 est l'inverse du module de transformation des logarithmes naturels en logarithmes vulgaires.

des valeurs $I'_\infty, I''_\infty, \dots$ et ce sont ces moyennes que l'on introduit dans les calculs.

On admet ainsi que la fatigue s'est fait sentir suivant la même loi sur I_x et I_∞ et que les moyennes utilisées représentent I_x et I_∞ mesurées au même instant. Ceci est exact quand la fatigue est déjà avancée et que les variations d'intensité sont lentes, mais quand les variations sont rapides, il est difficile d'affirmer la valeur des moyennes ; de plus il pouvait se produire une discontinuité dans l'intensité du rayonnement. Il importe d'être prévenu de cette cause d'erreur dans le calcul de l'intensité moyenne.

J'ai pensé que si l'on traçait en fonction du temps la courbe de I_x et celle de I_∞ il serait possible de déterminer pour n'importe quel instant le rapport $\frac{I_\infty}{I_\infty - I_x}$ et par là la valeur de μ , et d'en suivre les variations. La continuité des courbes serait aussi une garantie contre les erreurs fortuites.

Voici comment on procède pour le tracé de ces courbes : un chronomètre est mis en marche lorsque l'on établit la tension à la cellule, et dès que le spot se déplace assez lentement pour que des mesures deviennent possibles, on mesure, à partir de l'époque T , plusieurs fois de suite la valeur de I_x on obtient des valeurs très voisines correspondant aux époques $T, T + \Delta_1 T, T + \Delta_2 T \dots$ et qui donnent un élément de la courbe I_x . Puis, à partir de l'époque T_1 , on fait plusieurs mesures de I_∞ qui fournissent un élément de la courbe I_∞ ; on recommence pour I_x et ainsi de suite. Les seules précautions à prendre consistent à bien donner à l'électrode collectrice la même position par rapport à la grille et à maintenir constant en volts/cm. le champ extracteur. Une erreur d'expérimentation est d'ailleurs en général décelée par le tracé de la courbe.

On joint alors par une ligne continue les points correspon-

dant aux mesures de I_x et celles qui se rapportent aux mesures de I_{∞} . La continuité des deux courbes obtenues est parfaite, et leur allure est la même, ainsi qu'on le verra dans la suite.

c) **Résultats.** — Prenons comme premier exemple celui d'une cellule de papier-filtre, préalablement immergée dans de l'eau acidulée par SO^4H^2 au 1/100, puis séchée à l'air. Le champ de courant étant 450 volts, borne A au pôle négatif, et le champ extracteur 65 volts /cm.

Charges extraites : négatives.

On obtient les résultats contenus dans le tableau suivant :

x en cm.	Temps où a lieu la mesure	θ = durée pour extraire 100 divisions de l'échelle	I : intensité en unités arbitraires
0,154	1/2 minute	4 1/4	11,8
	1	4 1/2	11,1
	1 1/2	4 3/4	10,5
	3	5	9,7
	3 1/2	5 3/4	8,7
0,77	5 1/2	5	10
	6	5,1	9,7
	6 1/2	5,1	9,7
	7	5 1/2	9,1
0,154	9	8	6,2
	10	8	6,2
	10 1/2	8 1/4	6,06
	11	8 1/2	5,9
0,77	12	7	7,1
	12 1/2	7	7,1
	13	7 1/4	6,9
	13 1/2	7 1/4	6,9
0,154	15	10	5
	15 1/2	10,1	4,9
	16 1/2	10,5	4,8
	17	10,6	4,7

x en cm.	Temps où a. lieu la mesure	θ = durée pour extraire 100 divi- sions de l'échelle	I : intensité en unités arbitraires
0,77	19	9	5,5
	19 1/2	9 1/4	5,4
	20	9 1/2	5,26
	21	10	5
0,154	23	13,6	3,63
	23 1/4	14	3,57
	24 1/2	14 1/4	3,5
	25	14 3/4	3,4

Les résultats permettent de construire les courbes suivantes pour I_∞ et I_x ($x = 0$ cm. 154) (fig. 3).

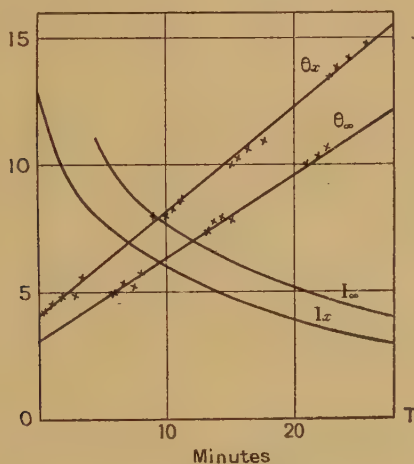


Fig. 3.

La comparaison des ordonnées donne pour μ les valeurs suivantes :

Au temps 4. . . . $\mu = 10,1$

Au temps 24 . . . $\mu = 9,7$

μ diminue donc lentement lorsque la fatigue augmente, c'est là un résultat que l'on retrouve toujours. Il est souvent

plus commode, pour la détermination de μ de construire les courbes θ_x et θ_∞ qui représentent les durées pendant lesquelles une même charge a été extraite, et dont les ordonnées sont respectivement proportionnelles à $\frac{1}{I_x}$ et $\frac{1}{I_\infty}$.

On remplace dans la formule précédente $\frac{I_x}{I_\infty - I_x}$ par $\frac{\theta_x}{\theta_x - \theta_\infty}$

L'avantage que l'on trouve à utiliser θ réside dans le fait que θ est mesuré directement et que l'on est ainsi dispensé de calculer son inverse I ; mais de plus la courbe de θ est très facile à construire et se réduit souvent à une droite comme c'est le cas dans l'exemple précédent. Le rapport des ordonnées $\frac{\theta_x}{\theta_x - \theta_\infty}$ se trouve par là déterminé avec plus de précision.

Les courbes θ_x et θ_∞ pour le papier préalablement imprégné de SO^4H^2 dilué puis séché, et pour toutes les tensions peuvent presque toujours être confondues avec des droites ainsi qu'il résultera des exemples suivants.

On déduit de là que les courbes I_x et I_∞ sont des branches d'hyperboles équilatères dont OT est une asymptote commune les autres asymptotes étant des droites parallèles à OI et situées à gauche de la figure.

Autres exemples de mesure. — Papier imprégné de SO^4H^2 au 1/200. *Champ de courant 450 volts.* A au pôle négatif-champ extracteur 65 volts /cm. Charges extraites : positives.

x en cm.	Temps où a lieu la mesure	θ = durée pour extraire 250 divisions	I : intensité en unités arbitraires
0,154	0 minute	9	11,1
	1	9	11,1
	2	9 1/2	10,5
	3	10	10

x en cm.	Temps où a lieu la mesure	θ = durée pour extraire 250 divi- sions	I : intensité en unités arbitraires
0,77	4	7 1/4	13,8
	4 1/2	7 1/4	13,8
	5	7	14,3
	5 1/2	7	14,3
0,154	7	10 1/2	9,5
	8	10 1/2	9,5
	8 1/2	10 3/4	9,3
	9	10 3/4	9,3
	10	11	9,1
0,77	11	8	12,5
	12	8 1/2	11,7
	13	8 3/4	11,4
	13 1/2	8 1/2	11,7
0,154	14 1/2	12	8,3
	15	12 1/4	8,1
	15 1/2	12 1/4	8,1
	16	12 1/2	8
0,77	18	9	11,1
	19	9 1/2	10,5
	19 1/2	9 1/2	10,5
0,154	20 1/2	13	7,7
	21	13	7,7
	21 1/2	13 1/4	7,5
	22	13 1/2	7,3
	22 1/2	13 3/4	7,2
0,77	24	10 1/2	9,5
	25	10 1/2	9,5
	26	10 3/4	9,3
0,154	27	14 1/2	6,9
	27 1/2	14 1/2	6,9
	28	15	6,6
	28 1/2	15	6,6

La courbe suivante traduit ces résultats ; θ_x et θ_∞ sont représentés par des droites ; I_x et I_∞ seraient représentées par des branches d'hyperboles (fig. 4).

Le coefficient μ varie peu au cours de cette expérience. Sa valeur est voisine de 8,8. La cellule avait fonctionné une demi-heure avant le commencement des mesures.

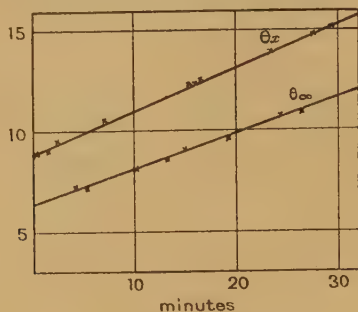


Fig. 4.

Les tableaux suivants ont été obtenus avec le même papier que précédemment, mais avec des champs de courant plus élevés.

Champ de courant : 900 volts. A au pôle négatif. Mêmes conditions d'extraction que précédemment.

x en cm.	Instant où a lieu la mesure	θ pour 100 divisions
0,154	4	24
	5	24 1/2
	5 3/4	24
	6 1/2	23 3/4
	7 1/2	24
0,77	8 1/2	17
	9	17 1/2
	9 3/4	17 1/2
	10 3/4	17 1/2
	11	17 1/2
0,154	13 1/4	24 3/4
	13 1/4	25
	14 1/4	25 1/2
	15 1/2	25 1/2
	16	26

x en cm.	Instant où a lieu la mesure	θ pour 100 divisions
0,77	17 1/2	19
	18	19
	18 1/2	19
	19 1/4	19
	19 3/4	19 1/4
0,154	21	26 1 1/4
	21 3/4	27
	24 1/2	27
	25 1/2	27 1/4
	26	27 1/4
0,77	27 1/2	19 1/2
	28	19 1/2
	29 1/2	19 3/4
	30	19 1/2

Les courbes représentatives de θ sont encore des droites. Elles permettent de calculer pour μ une valeur toujours voisine de 8.

Champ de courant : 1080 volts. Mêmes conditions que précédemment.

x en cm.	Instant où a lieu la mesure	θ durée pour extraire 100 divisions
0,77	4	8
	4 1/2	8 1/4
	5	8 1/4
	5 1/2	8 1/2
0,154	6	12 1/2
	6 3/4	12 1/4
	7 1/4	12 1/2
	8	12 1/2
0,77	9	8 1/2
	11	8 1/2
	12	8 1/2
	12 1/4	9
0,154	14	12 1/2
	15	12 1/2
	16	12 1/2
	16 1/2	12 1/2

μ calculé dans ces conditions est voisin de 7,4.

En comparant ces résultats, on voit que μ varie avec le champ de courant :

Pour 450 volts	$\mu = 8,8$
900	$\mu = 8$
1 080	$\mu = 7,4$

Tout se passe comme si les rayons émis étaient plus pénétrants, pour des champs de courant plus élevés.

En même temps l'intensité totale de rayonnement augmente considérablement, et il est nécessaire, pour que le déplacement du spot ne soit pas trop rapide d'augmenter la capacité électrostatique du système. On a utilisé pour cela un condensateur à lame d'air formé de feuilles de métal séparées par de petites cales d'ébonite de faible surface pour éviter les pénétrations de charges qui fausseraient les résultats. Les chiffres ci-dessus ne sont donc comparables entre eux que dans chaque série de mesures.

J'ai quelquefois constaté, au *début de l'émission l'exagération de l'effet*, ainsi que le montrent les résultats numériques ci-après.

Mêmes conditions que précédemment : champ de courant : 450 volts.

x en cm.	Instant où a lieu la mesure	θ = durée pour extraire 100 divisions
0,77	0	18
	1	14
	2	13
	3	13
	3 1/2	12
0,154	4	16
	5	15,5
	6	16
	6 1/2	16 1/2
0,77	7 1/2	12 1/2
	8	13 1/4
	9	14
	10	14 1/2

x en cm.	Instant où a lieu la mesure	θ durée pour extraire 100 divisions
0,154	11	19
	12	19 1/2
	13	21 1/2
0,77	15	18
	16	18
	17	18 1/2
0,154	19	26
	20	26 1/2
	21	26 1/2
0,77	22	20
	23	20 1/2
	24	21

Les courbes θ_x et θ_∞ ont la même allure : avant d'atteindre leur partie rectiligne ascendante, elles présentent une partie

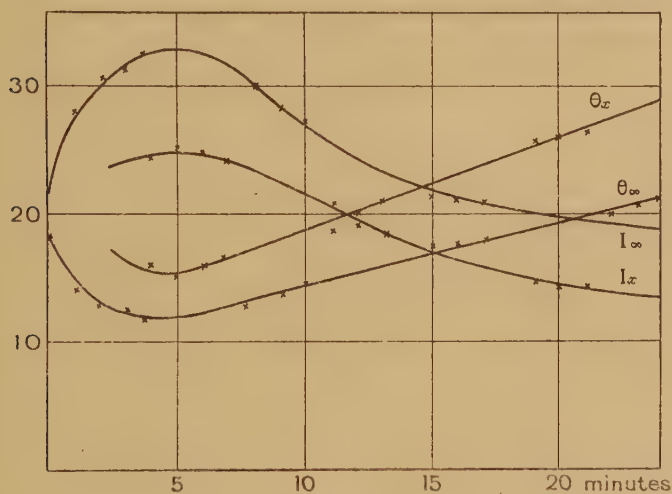


Fig. 5.

descendante. Les courbes I_x et I_∞ présentent au contraire une branche ascendante, puis un maximum, et enfin une branche descendante d'allure hyperbolique (fig. 5).

μ varie de 9 à 8,6 pendant la durée des mesures.

Autres déterminations de μ , relatives à diverses épaisseurs d'air traversées. — Des mesures ont été faites aussi pour des distances de l'électrode collectrice à la cellule différentes des précédentes. Ces mesures ont leur intérêt, car elles montrent que le coefficient μ n'a pas la même valeur dans tous les intervalles à partir de la grille.

Pour la commodité des calculs et des expériences, les mesures ont été faites pour des distances $x = 0$ cm. 154 et $2x = 0$ cm. 308.

Les formules qui donnent les intensités des courants d'ionisation sont alors :

$$I_{2x} = I_{\infty} (1 - e^{-2\mu x})$$

$$I_x = I_{\infty} (1 - e^{-\mu x})$$

d'où l'on tire :

$$\mu = \frac{2,30}{x} \log \frac{I_x}{I_{2x} - I_x} = \frac{2,30}{x} \log \frac{\theta_{2x}}{\theta_x - \theta_{2x}}.$$

Exemple : mêmes conditions que précédemment avec un champ de courant de 450 volts :

Distance en cm.	Instant où a lieu la mesure	$\theta =$
$x = 0,154$	0	29
	2,5	35
	4	39
	5	40
$2x = 0,308$	7	37
	9	39
	10	40
$x = 0,154$	12 1/2	45 1/2
	14	45 1/2
	16	47
$2x = 0,308$	18	43 1/2
	19	44
	21	45

Distance en cm.	Instant où a lieu la mesure	$\theta =$
$x = 0,154$	23	50 1/2
	24	50 1/2
$2x = 0,308$	26	45
	27	45 1/2
	28	46
$x = 0,154$	30	53 1/2
	31	53 1/2
	32,5	53 1/2

La valeur de μ calculée pour l'absorption dans l'intervalle de x à $2x$ est 15,3 environ, résultat beaucoup plus grand que ceux des mesures précédentes.

D'autres séries de mesures ont permis de calculer pour une même cellule, et au même instant la valeur de μ rapportée à divers intervalles comptés à partir de la grille.

On a construit pour cela plusieurs courbes de θ rapportées à des distances différentes ; les distances choisies sont :

$$x_1 = 0 \text{ cm. } 154$$

$$x_2 = 0 \text{ cm. } 462$$

$$x_\infty = 0 \text{ cm. } 770$$

Les mesures ont donné les résultats suivants :

x en cm.	Instant où a lieu la mesure	$\theta =$
$x_\infty = 0,770$	1	21
	1 1/2	21
$x_2 = 0,462$	3	24 1/2
	4	23
$x_1 = 0,154$	6	31
	6 1/2	30
	7 1/2	30 1/2
	9 1/2	26
$x_2 = 0,462$	10	26 1/2
	11 1/2	27

x en cm.	Instant où a lieu la mesure	$\theta =$
$x_{\infty} = 0,770$	14	24
	15	26
$x_2 = 0,462$	17	28
	17 1/2	28 1/2
	19	29
$x_1 = 0,154$	20	35,5
	21	35,5
	22	36,5
	23	38
$x_2 = 0,462$	24 1/2	31
	25 1/2	32,5
	26 1/2	32
$x_{\infty} = 0,770$	28	29 1/2
	29 1/2	30 1/2
	30 1/2	30

Ces résultats sont représentés par les courbes (fig. 6).

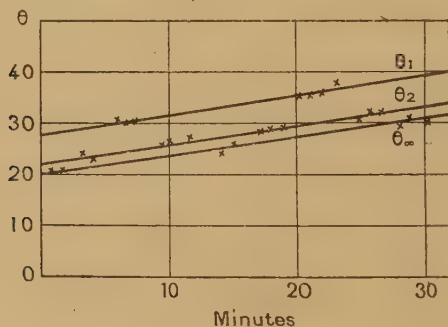


Fig. 6.

Au temps 16 les mesures faites pour $x_1 = 0,154$ et x_{∞} donnent pour μ la valeur 9,4. Celles qui se rapportent à l'intervalle $x_2 = 0,462$ et x_{∞} donnent $\mu = 5$ environ. Enfin, l'absorption entre $x_1 = 0,154$ et $x_2 = 0,462$ conduit à donner à μ dans cet intervalle la valeur 11,5. Ces résultats montrent

que l'intensité du rayonnement ne décroît pas suivant une loi exponentielle à partir de la cellule, les valeurs trouvées dans chaque cas pour μ ne sont que des moyennes et le rayonnement paraît complexe : une couche d'air produit en quelque sorte un tamisage, les radiations les moins pénétrantes donnent à μ une valeur plus grande pour l'absorption dans les couches les plus voisines de la grille ; seules les radiations les plus pénétrantes interviennent dans la détermination de μ moyen dans les couches les plus éloignées.

Ceci ressort nettement du rapprochement des résultats précédents :

Champ de courant : 450 volts ;

Champ extracteur : 65 volts/cm.

Distance de l'Electrode x	μ moyen déduit des mesures faites pour les distances			
	$x = 0,154$ $x = \infty$	$x = 0,154$ $x = 0,308$	$x = 0,308$ $x = 0,462$	$x = 0,462$ $x = \infty$
0 0,154 0,308 0,462 0,77 (∞)	9,4	15,3	11,5	5

On peut penser que pour des couches d'air très voisines de la grille on trouverait pour μ moyen des valeurs beaucoup plus grandes dues à des radiations très absorbables. Mais ces déterminations sont difficiles, car la précision sur la mesure de x devient moins grande, en raison de l'épaisseur de la grille qui est une fraction notable de mm. De plus, le champ électrostatique, au voisinage des points d'émission n'est pas seulement dû au champ extracteur : le champ qui existe entre les points voisins du corps mauvais conducteur et de la grille entraîne sur ces derniers des ions que l'on ne peut extraire (trajectoires indiquées sur la figure schématique 7).

Il faudrait alors établir un champ extracteur très grand, capable d'entraîner tous les ions, ou mieux encore il conviendrait d'opérer dans un gaz raréfié pour que les radiations les plus absorbables puissent pénétrer à quelques mm. au moins de la grille ⁽¹⁾.

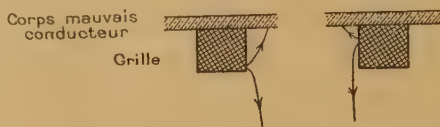


Fig. 7. — Quand le champ extracteur augmente (figure de droite), il est possible de capter des ions dans une région plus voisine du contact.

Il convient de remarquer que la grandeur du champ extracteur influe sur les valeurs de μ que l'on peut déterminer par les expériences précédentes. Ces valeurs dépendent en effet de $\frac{I_{\infty}}{I_{\infty} - I_x}$ or, si l'on admet que les radiations les plus absorbables ne dépassent guère l'épaisseur de la grille. I_{∞} et I_x se rapportent seulement aux radiations plus pénétrantes. Sous l'influence d'un champ extracteur très intense, des ions précédemment déviés peuvent être rabattus sur le plateau extracteur; I_{∞} et I_x sont alors augmentés d'une même quantité (ce que confirme la forme ascendante de la courbe de I en fonction du champ extracteur) ⁽²⁾. Il en résulte que le rapport $\frac{I_{\infty}}{I_{\infty} - I_x}$ est augmenté ainsi que μ . Cela explique que l'on puisse trouver, avec des champs élevés, pour des mesu-

⁽¹⁾ En opérant dans ces conditions, M. REBOUL a mesuré en juillet 1924 des coefficients d'absorption dans l'air sous la pression de quelques cm. de mercure, pour la région la plus voisine de la grille. Les chiffres ramenés à la pression atmosphérique donnent des valeurs de μ de l'ordre de plusieurs centaines d'unités.

⁽²⁾ Travaux antérieurs déjà cités.

res faites entre $x = 0$ cm. 154 et $x = \infty$, des valeurs de μ de l'ordre de 13 à 15.

En résumé, les expériences précédentes montrent que dans l'émission par le papier la courbe représentative de la fatigue en fonction du temps est souvent une hyperbole équilatère, ou ce qui revient au même, la courbe des durées d'extraction d'une même charge est une droite.

Le coefficient d'absorption moyen déterminé avec un champ extracteur constant :

- a) diminue légèrement quand la fatigue augmente ;
 - b) il diminue aussi quand le champ de courant augmente ;
 - c) enfin il diminue considérablement quand on s'éloigne de la grille, ce qui montre que le rayonnement est formé de radiations très inégalement absorbables.
-

CHAPITRE II

Divers corps capables d'émettre le rayonnement

Il m'a paru intéressant de rechercher si d'autres corps mauvais conducteurs possèdent la même propriété que le papier.

Il importe en effet d'augmenter le nombre des faits connus sur cette question et de rechercher en particulier s'il y a une relation entre le phénomène et l'état physique ou chimique des corps. De plus, l'étude de la conductibilité, de la répartition des potentiels dans la masse de la substance mise en expérience paraissant susceptible de préciser aussi les circonstances du phénomène et peut-être de le mettre en relation avec d'autres faits mieux connus, il y avait intérêt pour la généralité des résultats à faire cette étude sur des cellules de natures variées.

Dispositif. — Les essais avec des cristaux n'ayant donné aucun résultat avec les différences de potentiel allant jusqu'à 2400 volts, j'ai été amené à pulvériser divers sels ou oxydes et à en faire par compression des pastilles qui remplaçaient dans l'appareil précédemment décrit la cellule de papier. Ces pastilles étaient d'abord obtenues dans un moule d'ébonite. La partie inférieure du bloc était posée sur la grille et le contact supérieur était assuré par une lame métallique sur laquelle appuyait le piston à ressort. Dans la suite les pastilles ont été préparées par pression dans un moule d'acier puis démoulées pour être placées entre la grille et le piston, à la place des cellules de papier. Ces dernières pastilles avaient 13 mm. de diamètre et une épaisseur de 5 à 10 mm.

On a reconnu que l'épaisseur avait peu d'influence sur les résultats obtenus.

Résultats. — L'émission du rayonnement dépend de la nature du composé employé, mais il n'a pas été possible de mettre en évidence une relation nette entre l'intensité de l'émission et la constitution chimique. On peut cependant remarquer que les sulfates sont de tous les sels ceux qui ont donné les meilleurs résultats, par contre les chlorures se sont montrés particulièrement rebelles ainsi que le plus grand nombre des oxydes (sauf cependant l'oxyde jaune de mercure et l'oxyde stanneux).

Voici quelques-uns des nombres obtenus (1) pour l'intensité de l'émission au début du phénomène, et avant que la fatigue n'intervienne. Pôle positif à la grille. Champ extrac-teur 65 volts/cm.

Composés	Tension à la cellule	Intensité en unités arbitraires
Sulfate mercurique	450 volts	3750
Sulfate mercurieux	540	5000
Sulfate de cuivre	540	230
Sulfate ferrique	540	7000
Sulfate de baryum	1260	125
Alun de potasse	1260	150
Oxyde de mercure (jaune)	540	270
Oxyde stanneux	540	3000
Sesquioxyde de fer	2400	0
Sesquioxyde de manganèse	360	12
Oxyde salin de manganèse	720	0
Oxyde noir de cuivre	2400	0
Magnésie	2400	0
Chlorure cuivrique anhydre	2400	0
Chlorure cuivreux	900	40
Chlorure mercurieux	2400	0
Chlorure mercurique	2400	0
Chlorure ferreux anhydre	2400	0

(1) REBOUL et BODIN. *C. R. t.* CLXXIX, 1924, p. 37.

Composés	Tension à la cellule	Intensité en unités arbitraires
Sulfure mercurieux	180	5
Sulfure mercurique	1 800	170
Iodure mercurique	2400	0
Carbonate de cuivre	2400	0
Carbonate de cuivre (grille au pôle négatif)	900	2 000
Chromate de mercure : grille au pôle positif	800	0
Chromate de mercure : grille au pôle négatif	800	1 500

La décharge disruptive limite souvent les tensions que l'on peut appliquer aux électrodes : les pastilles de Mn^2O^3 se rompent pour une tension de 400 volts, celles de Mn^3O^4 pour 900 volts. Les sulfures cuivreux et mercurieux, l'iodure mercurieux, les sels humides ne supportent que des tensions très faibles. Le déplacement du spot qui est très régulier dans le cas de l'émission et saccadé s'il y a production d'étincelles renseigne sur l'allure du phénomène. Enfin les corps qui émettent se rompent en général sous une tension voisine de celles pour lesquelles leur émission a pris une grande intensité.

La tension aux bornes a en effet une grande influence sur l'intensité du rayonnement qui augmente très vite avec cette tension, comme cela a lieu aussi avec les cellules de papier. Les mesures ne deviennent possibles, pour des tensions un peu élevées que si l'on augmente la capacité de l'électromètre par l'adjonction d'un condensateur.

Exemples de l'influence de la tension sur l'intensité du rayonnement :

Sulfate de cuivre.

Tension en volts . . . V	540	630	720	810	900	990
Intensité en unités arbitraires. I	230	500	1.000	1.500	2.000	2.500

Sulfate mercurique.

V	180	270	360	450
I	0	8	260	3.750

Sulfate ferrique.

V	270	360	450	540
I	0	28	1.000	7.000

Oxyde jaune de mercure.

V	360	450	540	630	720	810
I	0	15	270	790	2.500	5.000

Il faut remarquer aussi que certains corps tels que le carbonate de cuivre et le chromate de mercure n'émettent que lorsque la grille est reliée au pôle négatif de la batterie. Pour toutes les cellules en général l'intensité change et souvent d'une façon notable quand on inverse le courant : l'émission n'est même pas la même pour la face positive et pour la face négative de la pastille.

Exemples :

Substances	Tension	Face +	Face —
Oxyde jaune mercure . . .	720	2.500	1.500
Sulfate de cuivre.	540	230	50
Sulfate mercurieux	540	5.000	0
Alum ordinaire	1.260	150	40

Il importait de rechercher si les radiations émises par ces nouvelles cellules ont les mêmes propriétés que celles que l'on avait précédemment produites. L'étude des coefficients d'absorption a donné pour les diverses cellules des résultats voisins de ceux qui ont été obtenus avec les cellules de papier. Ici encore on a affaire à un rayonnement complexe.

Les mesures ont été faites comme on l'a décrit au chapitre précédent et les courbes des intensités du courant d'ionisation ont été tracées en fonction du temps. De la comparaison de ces courbes, on a déduit les valeurs du coefficient d'absorption.

Exemple : cellule à oxyde de mercure.

Tension 1 080 volts-pôle négatif à la grille-charges extraites : positives. Champ extracteur 65 volts/cm.

x en cm.	Instant ou a lieu la mesure	θ	I
0,154	2	5	200
	4	7,5	133
	5	9	111
0,770	6	7 1/2	133
	7	8 1/2	117
	8	10 1/4	98
	10	17	59
0,154	11	29	34,5
	12	34	29,4
	13	38	26,3
	15	54	18,5
0,77	17	47	21,3
	19	58	17,2
	21	70	14,3
0,154	22	114	8,8
	23	125	8
	29	224	4,46
0,77	31	184	5,1
	36	236	4,23
	39	264	3,79
0,154	46	396	2,53
	48	432	2,27
	51	472	2,12

x en cm.	Instant où a lieu la mesure	θ	l
0,77	55	416	2,4
	57	448	2,23
	60	480	2,10

La courbe des intensités descend très rapidement pendant les premières minutes, avant de prendre l'allure hyperbolique que nous avons reconnue dans l'étude précédente. C'est ce même résultat que traduisent les courbes ci-après des durées θ d'extraction d'une même charge. Ces courbes d'abord rapidement ascendantes prennent ensuite une allure rectiligne.

μ est de l'ordre de 11 quand un régime semble établi, il diminue ensuite lentement.

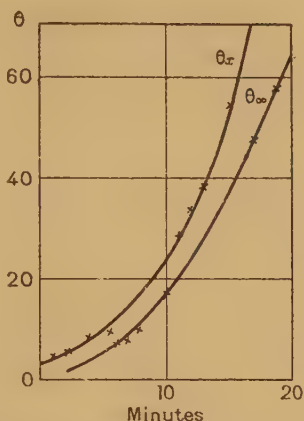


Fig. 8. — Courbe de θ pendant les 20 premières minutes.

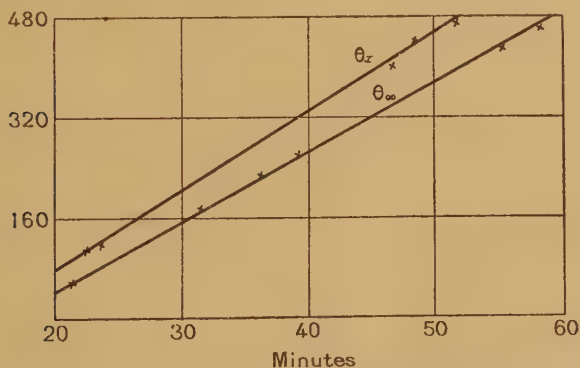


Fig. 9. — Courbe de θ pendant les 40 minutes suivantes (Les ordonnées de la fig. 9 sont 8 fois plus petites que celle de la fig. 8).

Avec les cellules de sulfate de baryum pour une tension de 1260 volts, après une période de quelques minutes pendant laquelle l'intensité du rayonnement faiblit considérablement il s'établit aussi une sorte de régime où la courbe de θ en fonction du temps est une droite, μ est de l'ordre de 9 au début et de 8 à la fin des mesures.

Avec de l'alun, on obtient en général dès le début des courbes de θ qui sont des droites, et μ a la valeur 9 (tension = 1260 volts).

Les cellules à sulfate de cuivre donnent des résultats analogues avec μ voisin de 10 (tension 1170 volts).

Les courbes suivantes traduisent quelques mesures de θ relatives au sulfate de baryum et à l'alun.

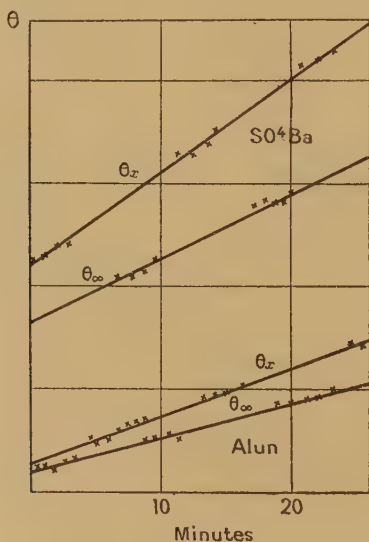


Fig. 10.

Les autres substances donnent des résultats analogues :

a) Pour toutes μ diminue avec le temps ; b) il diminue

quand augmente le champ du courant ; c) il diminue quand on s'éloigne de la grille.

Le rayonnement émis par ces nouvelles cellules a donc, dans les conditions des mesures précédentes, tous les caractères de celui que l'on a étudié avec les cellules de papier.

CHAPITRE III

Intensité qui traverse les cellules.

Cette étude a pour but la recherche d'une relation entre le phénomène de l'émission tel qu'on vient de le décrire et d'autres propriétés des corps.

Montage. — Les pastilles sont obtenues par la compression des poudres dans un moule d'ébonite épais, et le courant est amené par les deux pistons de laiton qui ont effectué la compression. Ces pistons s'engagent dans le moule à frottement très dur, ce qui assure, au cours des expériences, leur contact intime avec la pastille. La différence de potentiel qui leur est appliquée est fournie par une batterie d'accumulateurs. En raison de la très grande résistance des pastilles, on peut considérer que cette différence de potentiel est égale à la force électromotrice de la batterie, ce que des mesures électrométriques ultérieures ont pleinement confirmé. Dans le circuit était intercalé un galvanomètre Despretz-d'Arsonval, convenablement shunté, de résistance 253^{ω} qui donnait une déviation de 5 mm. sur une règle placée à 1 m. 40 pour une intensité de 10^{-6} ampère.

Résultats. — Les nombreuses mesures effectuées ont permis d'établir une corrélation entre les propriétés relatives à l'émission et celles qui se rapportent à la conductibilité électrique.

A. *Un premier groupe* de substances se met immédiatement à part; ce sont celles qui se comportent comme des isolants ou tout au moins dont la résistivité est très considérable.

L'iodure mercurique comprimé en une pastille de 4 mm. 5 de diamètre et de 10 mm. de long à laquelle on applique une différence de potentiel de 1 200 volts ne laisse passer aucun courant décelable par le galvanomètre.

Le chlorure mercurieux, le chlorure mercurique, le chlorure cuivrique anhydre, le chlorure ferreux anhydre se comportent de la même manière.

On a vu que ces corps n'émettent pas de radiation même pour une différence de potentiel de 2 400 volts.

B. *Dans un second groupe* se rangent des corps faiblement conducteurs, qui laissent passer des courants appréciables, mais ne présentent aucune particularité au point de vue de la conductibilité, tels sont le sesquioxyde de fer, la magnésie, l'oxyde salin de manganèse.

Fe^2O^3 laisse passer une intensité très faible, mais bien constante pour une différence de potentiel donnée et proportionnelle à cette différence de potentiel. C'est dire que la résistivité de Fe^2O^3 comprimé est bien définie : elle est voisine de 40×10^6 ohms-cm.

Voici, à titre d'exemple, pour une pastille donnée des résultats de mesures.

Différence de potentiel	Intensités en unités arbitraires
$E = 1\ 170$ volts	$I = 27$
900	21
630	15
360	8,5
180	4,2

On voit que I est très sensiblement proportionnel à E (fig. 11).

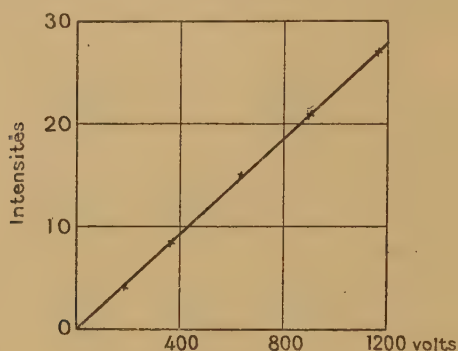


Fig. 11.

L'état de compression a une légère influence sur la résistivité, mais une pastille donnée reste bien comparable à elle-même.

La magnésie donne des résultats analogues avec une résistivité :

$$\rho = 5 \times 10^6 \text{ ohms-cm.}$$

Différence de potentiel	Intensité en unités arbitraires
$E = 900 \text{ volts}$	$I = 44$
630	30
360	17,1
180	8,5
Pour Mn^3O_4	$\rho = 0,12 \times 10^6 \text{ ohms-cm.}$
$E = 450 \text{ volts}$	$I = 90$
360	72
270	54
180	36
90	18

Les substances se comportent donc à la façon de conducteurs métalliques de résistivité très grande, mais bien constante.

Il faut noter cependant que pour une tension supérieure à 500 volts Mn^3O_4 laisse passer une intensité croissante avec le temps d'une façon continue. On assiste alors à une cohération due au passage du courant, ou peut-être cet effet est-il dû à

une variation de température de la pastille sous l'action du courant.

Les corps de ce second groupe n'émettent pas de rayonnement (V. Chapitre II).

C. Le troisième groupe comprend des corps faiblement conducteurs caractérisés par cette double propriété :

1° Pour une différence de potentiel donnée l'intensité qui les traverse n'est pas constante et diminue d'une façon continue à mesure qu'augmente la durée de passage du courant.

2° L'intensité n'est pas en général proportionnelle à la différence de potentiel appliquée.

En un mot, la résistance semble mal définie et susceptible de variations continues.

Voici des résultats obtenus en ce qui concerne la variation de l'intensité en fonction du temps, dans le cas de l'oxyde jaune de mercure.

a) Différence de potentiel appliquée : 90 volts

Durée du passage du courant	Intensité (Unités arbitraires)
20 secondes	200
40	140
1 minute	113
2	78
3	64
4	55
6	45
12	32

b) Différence de potentiel appliquée : 360 volts

20 secondes	48
1 minute	28
2	20
4	14
6	12

c) Différence de potentiel appliquée : 720 volts

20 secondes	120
40	85
1 minute	70
2	50
4	25
6	18
16	11

Durée du passage du courant	Intensité Unités arbitraires
d) Différence de potentiel appliquée : 1 260 volts	
20 secondes	75
1 minute	41
2	39
3	37
16	35

Les courbes présentent dans tous les cas une branche d'abord rapidement descendante, dont les ordonnées diminuent ensuite beaucoup plus lentement. La courbe ci-dessus se rapporte à l'exemple *c*) (fig. 12).

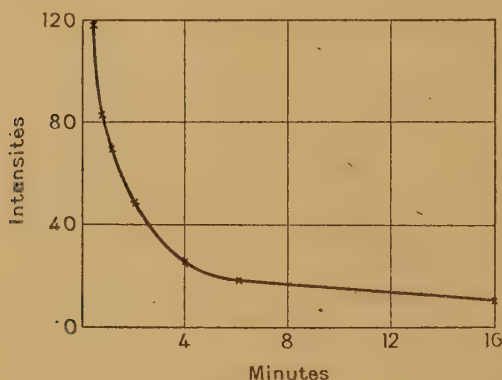


Fig. 12.

Le phénomène n'est pas dû à une décompression partielle de la pastille, qui aurait pour effet, en en éloignant les grains d'augmenter sa résistance : il est tout aussi nettement présenté par les pastilles comprimées depuis longtemps et par celles qui sont nouvellement préparées.

On doit le considérer comme une conséquence du passage actuel du courant : Si on interrompt le courant pendant un temps de l'ordre de la minute puis qu'on mesure son intensité

quand on le rétablit, on trouve que cette intensité reprend une valeur comparable à sa valeur primitive.

Par exemple, pour une tension de 1 260 volts, on a obtenu les résultats suivants :

Instants où on fait la mesure	Intensité (unités arbitraires)
0	75
1	41
2	39
3	37
Interruption entre 3 min. et 3 min. 30 sec.	
4	65
4,30	43
5	37
Interruption entre 5 min. et 6 min. 30 sec.	
7	80
8	37
Interruption entre 8 min. et 10 min. 30.	
11	77
12	37

Les mesures sont faites dans les conditions où le galvanomètre indique bien l'intensité qui le traverse, et ne subit plus l'influence de l'impulsion qu'il reçoit au moment de la fermeture du circuit ; d'ailleurs l'impulsion, quand le circuit a été interrompu quelques secondes seulement, est de faible amplitude.

On obtient un phénomène beaucoup plus net encore quand on inverse le sens du courant.

A un moment donné, quand l'intensité est à peu près constante et égale à 30 par exemple, une rupture étant suivie immédiatement d'une fermeture de circuit, l'impulsion est telle que le spot se déplace jusqu'à la division 40, pour revenir en quelques secondes à la division 30. Une inversion provoque une impulsion en sens contraire jusqu'à la division 1 800 et il faut au spot 3 minutes pour revenir lentement à la division 30.

Enfin, il peut arriver que la pastille qui vient d'être traversée par le courant, mise en court-circuit sur le galvanomètre provoque un courant de sens contraire, mais d'intensité très faible, rapidement décroissante, qui devient nulle au bout de quelques minutes. Ceci est cependant beaucoup moins général et moins net que les faits précédents.

Avec l'oxyde jaune de mercure, par exemple, l'intensité limite étant 64, la pastille en court-circuit sur le galvanomètre donne une intensité 0,8 qui tombe à 0,1 en une minute.

La résistance apparente de la pastille dépend donc de ses états électriques antérieurs : toute interruption ou inversion du courant change au moins pendant un certain temps, et dans de larges limites la résistance de la pastille, ou plus exactement l'intensité qui la traverse pour une tension donnée.

Ces propriétés sont communes à tous les corps du 3^e groupe. Le tableau suivant donne la variation de I en fonction du temps.

Substances	Tensions volts	Temps en minutes et intensités correspondantes (en unités arbitraires)						
		0 ^m	1 ^m	2 ^m	3 ^m	4 ^m	5 ^m	6 ^m
(SO ⁴) ² Fe ² . . .	360	60	37	28	23	19	16,5	15
SO ⁴ Hg . . .	360	100	21	12	7	5	4,5	3,5
SO ⁴ Hg ² . . .	360	35	27	23	20	18	16,5	15,5
Alun ord. . . .	1.260	90	40	30	25	23	20	19,5
SO ⁴ Cu	1.170	130	74	39	22	14	10	9
SO ⁴ Ba	1.260	67	55	48	41	38	36	35
CO ² Cu	990	90	60	46	37	32	28	25
Su(OH) ²	360	35	27	24	22	21	20,5	20
Mn ² O ³	90	53	39	32	28	25	23	22
HgS	630	80	55	45	40	36	33	31
CrO ⁴ Hg	360	33	17	10	7,5	6	5,5	5
NaCl	900	46	36	31	27,5	25	23	21
CO ² Na ²	360	167	158	150	143	136	129	123
Papier	900	120	60	43	36	32	30	29

Pour tous l'interruption du courant n'a pas un effet aussi marqué que pour l'oxyde de mercure, mais cet effet existe au moins quand l'interruption a été d'assez longue durée. En ce qui concerne l'inversion, les résultats sont toujours très nets et en général la nouvelle intensité prend une valeur voisine de l'intensité primitive obtenue avec la pastille neuve.

Pour le papier, elle passe de 27 à 120

Pour le sulfure mercurique rouge de 3 à 8.

Pour le chromate de mercure de 5,5 à 27.

Le passage du courant modifie donc les propriétés de la pastille : cette modification disparaît plus ou moins lentement quand le courant cesse, et un nouvel état est créé quand on inverse le courant.

L'étude de l'intensité I en fonction de la différence de potentiel appliquée E perd quelque peu de son sens en raison des phénomènes que l'on vient de décrire. Cependant on remarque que lorsque le courant a passé pendant longtemps dans une pastille, l'intensité diminue de plus en plus lentement : on peut la considérer comme constante pendant quelques minutes et une interruption très courte a alors peu d'influence. On peut profiter de cette circonstance pour changer brusquement la différence de potentiel appliquée, ce qui donnera une nouvelle valeur à l'intensité limite.

L'étude de l'intensité en fonction de la différence de potentiel peut être faite dans ces conditions : on fera passer pendant un temps assez long (de 15 à 30 minutes) le courant sous une tension de 1000 volts par exemple de telle sorte que l'intensité ne varie plus que très lentement, puis, on appliquera brusquement une tension de 800 volts et on lira la nouvelle intensité, puis 600 volts et ainsi de suite. On fera ensuite aussi rapidement que possible les mêmes lectures dans l'ordre inverse. Si on retrouve les mêmes résultats, on pourra considérer que l'état de la pastille n'a pas changé pendant l'expérience. Ceci a été réalisé dans certains cas.

Ainsi, avec le sulfate mercurieux on a trouvé 4 fois de suite les résultats suivants :

E =	900	540	360	180	90
I =	45	19	10	3	1,5.

Les deux courbes $I = F(E)$ pour E décroissant et E croissant alors confondues.

En général, il n'en est pas ainsi : les courbes sont distinctes tout en restant voisines, mais elles ont la même allure. Dans l'un ou l'autre cas, les courbes obtenues ne sont pas des droites comme l'exigerait la loi d'Ohm, mais le plus souvent des courbes à convexité tournée vers l'axe des tensions.

Le sulfate ferrique, par exemple, a donné les résultats suivants :

E en volts =	630	540	450	360	270	180
pour E décroissant	48	33	23	15	9	4
pour E croissant	40	30	22	14,5	9	4

Ces résultats sont traduits par la figure 13.

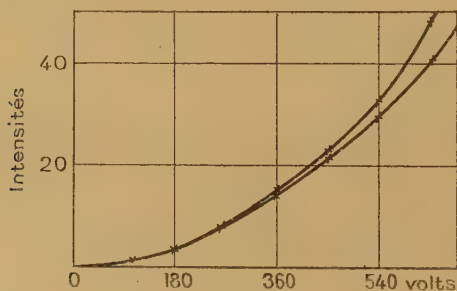


Fig. 13.

Le carbonate de cuivre a donné :

E en volts =	900	720	540	360	180
I pour E décroissant	53	36	24	15,5	7
pour E croissant	48	33,5	23	15	6,5

ce qui permet de tracer des courbes ayant la même allure que les précédentes.

Voici d'ailleurs les résultats obtenus dans l'étude de diverses substances. Ces résultats ne sont indiqués que pour les tensions décroissantes. La courbe $I = F(E)$ a pour tous la même allure que précédemment.

Substance	Intensités pour les tensions suivantes exprimées en volts									
	900	810	720	630	540	450	360	270	180	90
HgO.	45	»	»	27	»	»	13	»	5,5	»
(SO ⁴) ² Fe ²	»	»	»	48	33	23	15	9	4	»
SO ⁴ Hg	»	»	»	»	»	»	50	17	7	2
SO ⁴ Hg ²	45	37	30	25	19	14	10	6	3	1,5
Alun	27	23	20	16	13	10	7	5	3	1,5
SO ⁴ Cu	»	12,5	»	9	»	»	5	»	»	»
SO ⁴ Ba	36	»	»	23	»	»	12	»	5	»
Sn(OH) ²	»	»	»	»	»	»	55	32	17	6
Mn ² O ³	»	»	»	»	»	»	»	82	52	25
HgS.	100	»	»	60	»	»	30	»	15	»
CrO ⁴ Hg.	»	»	70	»	30	»	14	»	6	»
CO ³ Ca	53	44	36	30	24	18	15,5	10,5	7,5	3
CO ³ Na ²	»	»	»	29	»	»	14	»	5	»
Papier	»	»	»	»	»	29	22	17	11	5

Les corps de ce 3^e groupe sont précisément ceux qui sous des tensions convenables émettent des radiations ainsi qu'on l'a vu au chapitre précédent.

Ces deux propriétés ont toujours paru en corrélation : d'une part : *émission du rayonnement*, d'autre part : *diminution rapide de l'intensité qui traverse les cellules, avec influence très marquée sur cette intensité de la rupture et de l'inversion du courant, et de plus non proportionnalité de l'intensité limite avec la tension appliquée.*

Il faut noter cependant que pour quelques corps, des tensions suffisantes déterminent une intensité qui, au lieu de diminuer comme on vient de l'exposer, augmente avec le temps.

Ainsi une pastille de $\text{Sn}(\text{OH})^2$ de 1 cm. d'épaisseur à laquelle on applique une différence de potentiel de 400 volts est parcourue par une intensité croissante qui de la valeur 40 (unités arbitraires) passe, au bout de 5 minutes à la valeur 77 et après 7 minutes à la valeur 90. Mn^2O^3 pour une tension de 360 volts présente la même particularité.

Ce sont encore des cas de cohération par le courant analogues à ceux que l'on a déjà rencontrés. Mais ceci ne se présente que pour des tensions suffisantes : pour des tensions moindres, les substances considérées suivent les règles précédentes.

La conductibilité des électrolytes solides a été étudiée par M. VAILLANT (*Journal de Physique* de mars 1922 et de mars 1924) au regard de l'influence des variations de température sur cette conductibilité. Un sel solide, lorsqu'il subit une variation de température de l'ordre de quelques degrés, mais suffisamment rapide éprouve dans le sens de cette variation un changement de conductibilité considérable, d'autant plus important que la vitesse de la variation thermique est plus grande. L'effet produit est instable : le sel étant maintenu à une température différente de la température initiale, la conductibilité non seulement revient progressivement à sa valeur primitive, mais la dépasse notablement, en sorte que l'amplitude de cette nouvelle variation dirigée en sens inverse de la première est en général très supérieure à l'amplitude de celle-ci. Le second effet est lui-même suivi d'un troisième, dirigé en sens opposé, et ainsi de suite, la conductibilité initiale se rétablissant finalement par une série d'oscillations d'amplitude décroissante dont la durée totale est le plus souvent de plusieurs semaines.

Les intensités mises en jeu dans les expériences décrites dans ce chapitre et le dispositif utilisé (pistons de cuivre de volume relativement grand) sont tels qu'une variation brusque de température de la pastille mise en expérience est impossible.

La conductibilité n'a jamais subi d'accroissement rapide correspondant à un échauffement (sauf peut-être pour l'oxyde d'étain et Mn^3O^4 avec des tensions élevées). D'autre part, comme on l'a vu, elle s'est ou bien maintenue constante ou a diminué constamment. Enfin l'effet produit par l'inversion ou la rupture du courant ne saurait être interprétée comme conséquence d'une variation de température.

CHAPITRE IV

Répartition des potentiels.

L'étude de la conductibilité ayant conduit à cette conclusion que les corps qui émettent le rayonnement ne suivent pas la loi d'Ohm, j'ai été amené à penser que la distribution des potentiels à l'intérieur de ces corps pouvait présenter quelques particularités. Dans les conducteurs ordinaires cylindriques, les potentiels varient linéairement en fonction de la longueur : j'ai cherché à déterminer suivant quelle loi ils se distribuent dans les diverses substances qui avaient fait l'objet des recherches du chapitre précédent.

Montage. — La poudre est comprimée en une longue pastille de 2 à 4 cm., à l'intérieur d'un moule cylindrique d'ébo-

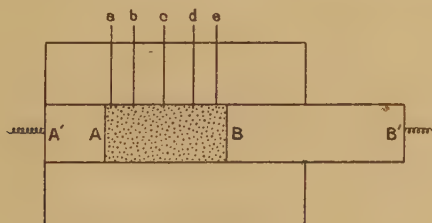


Fig. 14.

nite à parois épaisses. La compression est produite par deux pistons de cuivre ou de laiton sur lesquels on exerce une grande pression, avec une presse à vis. Les pistons s'engagent à frottement dur, ce qui assure le contact avec la pastille (fig. 14).

La longueur de cette dernière est obtenue par la différence

de la distance entre les extrémités des pistons et la somme des longueurs de ces pistons. AA' servant de fond au moule est toujours enfoncé de manière que la section A' soit dans le plan de l'extrémité du moule : la position de la base A de la pastille se trouve ainsi bien définie.

Les tiges de cuivre $a, b, c, d, \dots$ traversent la paroi du moule et se terminent en pointes sur une génératrice du cylindre intérieur. La position de ces pointes a été repérée par leur impression sur un cylindre de bois tendre placé en AB à la place de la pastille. Elles ont ensuite été usées à la lime de façon à ne pas dépasser à l'intérieur et à ne pas gêner la compression. Les extrémités A' et B' des pistons, ainsi que $a, b, c, \dots$ sont mises en relations avec des godets de mercure creusés dans un bloc de paraffine. Le courant passant dans la pastille, et A par exemple étant au sol, on mesurera les potentiels de $a, b, c, d \dots B$.

L'appareil de mesure est un électromètre cylindrique de

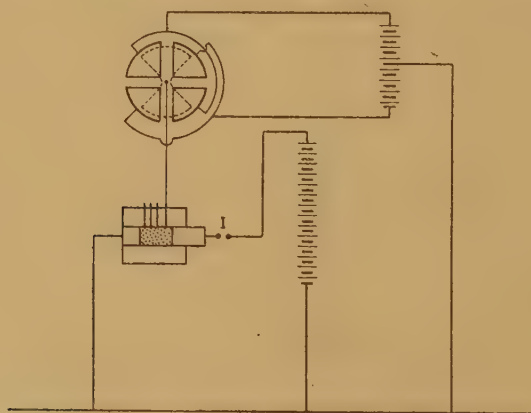


Fig. 15.

Blondlot et Curie. Les deux paires de secteurs sont portées à des potentiels égaux et de signes contraires par une petite batterie d'accumulateurs dont le milieu est au sol. L'aiguille

est chargée au potentiel, que l'on veut évaluer. Les déviations de l'équipage mobile à partir de sa position correspondant au potentiel zéro sont proportionnelles aux potentiels de l'aiguille ainsi que l'a montré une étude préalable de l'appareil à l'aide d'une batterie d'accumulateurs pouvant donner jusqu'à 1 100 volts.

Les déviations sont lues par la méthode de Pogendorff. La sensibilité peut être modifiée en agissant sur le potentiel des secteurs. Le plus grand nombre des mesures ont été faites dans des conditions où 90 volts donnent un déplacement du spot de 24 mm. sur une échelle placée à 1 m. 40. Les lectures peuvent ainsi être faites avec une approximation de 2 volts, ce qui est suffisant, ainsi qu'on le verra dans la suite.

Résultats. — Les trois groupes de corps que l'étude de la conductibilité a conduit à distinguer se retrouveront ici avec des caractères distinctifs très nets.

Les corps que nous avons considérés comme isolants, et qui n'émettent pas de radiations présentent le moins d'intérêt. Une extrémité de la pastille étant portée à un potentiel déterminé, 1 000 volts par exemple, la répartition des potentiels dans la masse est quelconque, irrégulière, la fermeture du circuit ne fait point disparaître cette distribution désordonnée des potentiels.

Les corps du deuxième groupe, dont la résistivité est grande, mais paraît très définie, en raison de la constance de l'intensité qui les traverse pour une tension donnée et de la proportionnalité de cette intensité à la tension se comportent ici conformément à la loi d'Ohm, c'est-à-dire que pour une section constante de la pastille les potentiels varient linéairement avec la longueur.

Le sesquioxyde de fer pour 900 volts, le piston A étant au potentiel zéro a donné les résultats suivants (x représente en

mm. la distance comptée sur la génératrice de la pastille à partir du piston A).

$X =$	0	2	11	18,5	27	35	43
Potentiel $V =$	0	41	232	368	555	720	900

Graphiquement ces résultats sont représentés d'une façon satisfaisante par une droite.

Le piston B étant mis au sol, l'inversion du courant fournit la nouvelle distribution des potentiels que l'on peut représenter aussi par une droite (fig. 16).

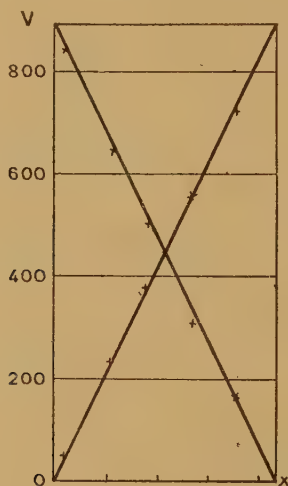


Fig. 16.

$X =$	0	2	11	18,5	27	35	43
$V =$	900	855	638	507	308	162	0

La distribution linéaire n'est pas toujours réalisée aussi nettement que dans cet exemple. Elle ne peut, en effet, avoir

lieu que si la pastille est homogène dans toute sa longueur, c'est-à-dire si l'état de compression est partout le même. Or, en général, les poudres transmettent mal les pressions, et il faut les comprimer sous de petites épaisseurs successives pour obtenir des résultats satisfaisants. Quand l'homogénéité n'est pas obtenue, V n'est plus représenté par une droite, mais par une courbe continue (fig. 17).

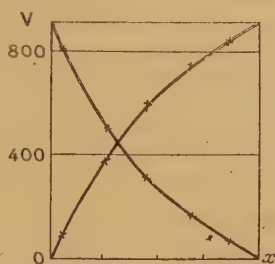


Fig. 17.

EXEMPLE

$X =$	0	2	11	18,5	27	35	41
$V =$	0	80	380	576	736	840	920
$V =$	920	820	508	304	160	60	10

Des résultats du même genre se retrouvent avec les comprimés de magnésie et d'oxyde salin de manganèse.

Avec tous ces corps mauvais conducteurs qui n'émettent pas de rayonnement, la courbe représentative des potentiels est continue entre A et B.

Examinons maintenant le cas des corps du troisième groupe, en prenant comme exemple l'oxyde jaune de mercure.

L'un des pistons étant porté à un potentiel donné, et l'interrupteur étant ouvert, l'électromètre accuse pour les deux pistons et aussi pour toutes les sondes $a, b, c, d, \dots$ le même potentiel. Si l'on ferme le circuit, l'un des pistons étant au potentiel zéro et l'autre à un potentiel fixe, égal à la f. e. m. de la batterie, l'aiguille de l'électromètre mise en relation avec l'une quelconque des sondes $a, b, \dots$ prend un potentiel variable lentement avec le temps. Les lectures faites rapidement permettent de se rendre compte à un instant donné de la répartition des potentiels.

L'une des extrémités étant au potentiel 0 et l'autre à 900 volts, on a obtenu les résultats suivants :

X =		0	2	11	18,5	27	35	40
V au temps	1 ^m	0	112	282	412	536	638	900 (I)
»	5 ^m	0	162	218	263	304	338	900 (II)
»	20 ^m	0	195	225	248	274	300	900 (III)

Les chiffres qui se rapportent aux abscisses comprises entre $X = 2$ et $X = 35$ peuvent être traduits graphiquement d'une façon satisfaisante par trois droites.

Ces droites prolongées ne rencontrent pas les ordonnées

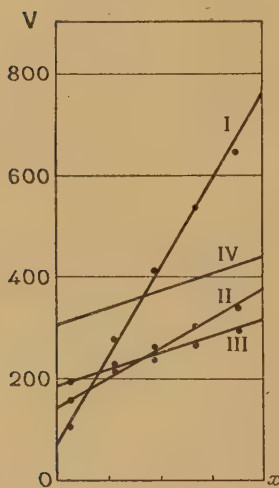


Fig. 18.

nées $X = 0$ et $X = 40$, respectivement aux points 0 et 900 (mais en des points d'ordonnées 190 et 320 pour la courbe III). Il y a une discontinuité dans la distribution des potentiels au contact des électrodes et de la pastille. Ce résultat trouvé d'une façon très constante n'est pas dû à une augmentation de résistance aux extrémités de la pastille. C'est dans ces régions, en effet, que le tassement est le mieux assuré et souvent la courbe y a un coefficient angu-

laire plus faible correspondant à une résistivité plus petite, ainsi que l'a montré la mesure du potentiel en des points très voisins de l'électrode (à 1/2 mm. par exemple). Il n'est pas dû non plus à un contact imparfait avec les pistons, ces derniers, quand on les arrache, entraînent par adhérence des fragments de la pastille.

Le dépôt des produits d'une électrolyse possible ne saurait

non plus expliquer de telles discontinuités : quand le courant a passé longtemps, l'électrode négative porte des traces nettes d'amalgamation, or ce dépôt de mercure ne saurait créer une résistance supplémentaire. La surface de l'autre électrode est noircie, mais l'oxyde de cuivre étudié au point de vue de la conductibilité ne s'est pas montré doué d'une résistivité moyenne supérieure à celle de l'oxyde de mercure même quand le courant dans ce dernier est très affaibli (V. chapitre III) ⁽¹⁾. On obtient le même résultat d'ailleurs avec deux électrodes amalgamées ou encore, comme on le verra dans la suite, avec un composé de cuivre serré entre deux électrodes de cuivre.

Il n'y a donc pas, au contact, de résistances exceptionnellement considérables.

La discontinuité du potentiel n'existe pas avant le passage du courant : elle s'établit à mesure que le courant passe, dès les premiers instants de la fermeture du circuit. Les lectures faites au point d'abscisse 2 dès la fermeture montrent que les ordonnées croissent avec le temps. Celles que l'on fait au point 35 diminuent avec le temps comme si, à l'instant de la fermeture la distribution était continue entre les deux électrodes.

Il est vraisemblable que le changement de nature des contacts a une influence sur la valeur des discontinuités qui se produisent aux extrémités, car la courbe III subit, en général, un déplacement qui en augmente les ordonnées tout en en diminuant légèrement la pente. Ainsi, au bout de 40 minutes, elle occupe la position IV qu'elle conserve ensuite pendant très longtemps.

(1) Une pastille de CuO à laquelle on applique une tension donnée est traversée par une intensité très irrégulière pouvant en une fraction de minute varier dans le rapport de 15 à 1. C'est là probablement un phénomène complexe de cohérence. CuO examiné au point de vue de la distribution des potentiels donne le même résultat que Fe_2O_3 , MgO , Mn_2O_4 . Il n'émet pas non plus de rayonnement.

Une interruption du courant suivie d'une fermeture du circuit, modifie la distribution des potentiels, qui se rapproche de la distribution (I), mais l'état final précédent est rapidement atteint de nouveau.

Une inversion du courant permet d'établir une famille de courbes de distribution présentant les mêmes caractères que précédemment, mais indiquant souvent aux extrémités des discontinuités différentes des premières.

Ces faits peuvent être constatés pour des tensions faibles : les différences entre le potentiel de l'électrode et celui de l'extrémité de la pastille, déterminées par extrapolation croissent avec la tension appliquée.

Pour l'extrémité positive, après le passage du courant pendant 5 minutes, on trouve :

Tension en volts	= 90	270	450	630	900
Différences de potentiel	= 12	120	270	400	530

Pour l'extrémité négative on a des résultats analogues, mais plus petits.

Tensions	=	90	270	450	630	900
Différences de potentiel	=	12	75	115	137	150

Il faut donc conclure des résultats précédents que lorsque le courant amené par deux électrodes de cuivre traverse une pastille d'oxyde jaune de mercure, l'électrode et l'extrémité de la pastille en contact avec elle présentent une différence de potentiel très grande. Cette brusque variation de potentiel se produit au contact ou tout au moins dans une couche de passage d'épaisseur vraisemblablement très petite.

Tous les corps étudiés précédemment, qui émettent le rayonnement présentent ce caractère mais moins accentué que l'oxyde de mercure. C'est ainsi que l'on a pu mettre en évidence des différences de potentiel de l'ordre de grandeur suivant :

Substances	Tension appliquée	Pôle +	Pôle —
(SO ⁴) ² Fe ²	360	60	45
SO ⁴ Hg	360	190	0
SO ⁴ Hg ²	900	150	0
Alun	900	370	190
SO ⁴ Cu	900	150	75
SO ⁴ Ba	1.080	200	90
Sn(OH) ²	360	50	30
Mn ² O ³	360	40	40
CrO ⁴ Hg	900	30	200
CO ³ Cu	900	0	560
Papier	540	310	120

Le carbonate de cuivre est intéressant au point de vue de la distribution des potentiels. Son étude a donné pour une tension de 882 volts par exemple :

X	0	2	11	18,5	21
V au temps 1 ^m	0	340	640	810	882
» 4 ^m	2	576	766	840	882

L'inversion du courant a fourni les mesures suivantes :

X	0	2	11	18,5	21
V au temps 4 ^m	882	810	570	414	10
» 8 ^m	882	838	666	580	10

Ces résultats sont représentés graphiquement par les courbes suivantes (fig. 19) :

Une différence de potentiel de l'ordre de 400 volts apparaît donc entre l'électrode négative et les points voisins de la pastille. Il y a continuité au contraire au contact avec l'électrode positive.

Pendant les recherches qui ont fait l'objet du chapitre II, j'avais remarqué que l'émission est plus intense quand le

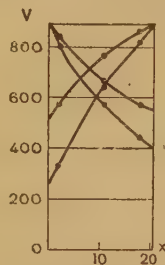


Fig. 19.

courant entre dans la cellule par la grille, que lorsqu'il passe en sens contraire. Les connexions ayant été faites pour réaliser ces conditions considérées comme favorables, CO^2Cu avait été essayé sans succès avec une tension de 2.400 volts. L'étude de sa conductibilité l'avait, dans la suite, montré analogue aux corps qui émettent. Enfin, quand l'étude de la distribution des potentiels eut montré qu'une discontinuité se présente au contact de l'électrode négative, le corps fut remis en expérience, la grille jouant le rôle d'électrode négative. Le rayonnement s'est alors manifesté avec les intensités suivantes ⁽¹⁾ (en unités arbitraires comparables à celle du chapitre II).

Tension appliquée en volts	630	720	810	900
Intensité du rayonnement	17	83	400	2.000

En somme CO^2Cu émet le rayonnement mais seulement du côté de l'électrode négative où se produit la discontinuité de potentiel.

Le tableau précédent montre que le sulfate mercurieux et le sulfate mercurique présentent des particularités du même ordre avec cette différence que la discontinuité des potentiels n'apparaît qu'à l'électrode positive. Ces corps qui émettent le rayonnement, le courant entrant par la grille, ont été essayés, le courant passant en sens contraire, l'émission a alors été nulle : le rayonnement n'apparaît pas où il n'y a pas de discontinuité de potentiel.

J'ai comparé aussi, pour le courant passant dans les deux sens l'intensité de l'émission du chromate de mercure pour lequel la discontinuité est beaucoup plus grande à l'électrode

(1) Je suis heureux de remercier ici M. DECHÈNE, qui travaillait au laboratoire de M. REBOUL, d'avoir bien voulu, sur ma demande, reprendre les expériences relatives à CO^2Cu et me communiquer plusieurs résultats de mesures sur cette question.

négligeable qu'à l'électrode positive ; les résultats sont les suivants.

Tension en volts	Intensité du rayonnement	
	Grille négative	Grille positive
540	17	0
630	90	0
720	300	0
810	1,500	0
900	très grande	0
990	id.	2
1.080	id.	16

L'apparition du rayonnement au pôle positif accompagne donc, l'apparition d'une discontinuité de potentiel suffisante à ce pôle.

En résumé, il ressort des résultats exposés dans ce chapitre que :

1° Les corps qui n'émettent pas de rayonnement ne présentent pas à leurs extrémités en contact avec des électrodes, des discontinuités dans la distribution des potentiels.

2° Les corps qui n'émettent qu'au contact d'une seule électrode présentent au contact de cette électrode seulement une discontinuité dans la distribution des potentiels.

3° Pour le plus grand nombre, l'émission totale est plus intense au pôle positif qu'au pôle négatif. Des discontinuités se présentent aux deux électrodes, mais plus grandes au pôle positif qu'au pôle négatif.

En un mot, *l'émission est toujours corrélative d'une discontinuité dans la distribution des potentiels, qui se manifeste au contact de la substance et de l'électrode métallique, ou tout au moins dans une couche de très faible épaisseur voisine de ce contact.*

CHAPITRE V

Essai d'interprétation des résultats précédents et nouvelles mesures relatives à l'absorption.

Le fait qui paraît le plus important parmi ceux que l'on vient d'exposer est l'existence de ces chutes importantes de potentiel au voisinage des électrodes en contact avec la substance étudiée. Il paraît en effet de nature à rendre compte, au moins qualitativement, de la plupart des particularités du phénomène.

Il explique immédiatement les variations de l'intensité qui traverse les cellules ; la tension qui détermine le mouvement

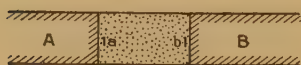


Fig. 20.

des charges à l'intérieur de la pastille n'est pas en réalité la différence de potentiel E appliquée aux électrodes A et B , mais celle qui

existe effectivement entre deux tranches prises à l'intérieur de la pastille en des régions voisines a , b , des contacts ; or, cette différence de potentiel n'est souvent, au bout d'un temps suffisant, qu'une fraction assez faible de la différence totale. Elle diminue d'ailleurs à mesure que la durée du passage du courant augmente. Les résultats exposés au chapitre III et tout particulièrement l'affaiblissement considérable de l'intensité, l'effet de la rupture et de l'inversion du courant peuvent être expliqués par l'apparition aux contacts des électrodes de chutes de potentiel importantes et croissantes avec le temps.

Les courbes représentant en fonction du temps d'une part

l'intensité, et d'autre part les différences de potentiel entre 2 tranches voisines des électrodes ont la même allure.

La tension appliquée aux électrodes étant 900 volts, on trouve pour une pastille d'oxyde jaune de mercure :

Temps	I = Intensité en unités arbitraires	V = différence de potentiel entre a et b
0 m. 20	240	630 volts
1	140	360
2	100	250
3	80	210
4	70	180
5	60	160
7	60	155

Ces résultats sont traduits par les courbes suivantes :

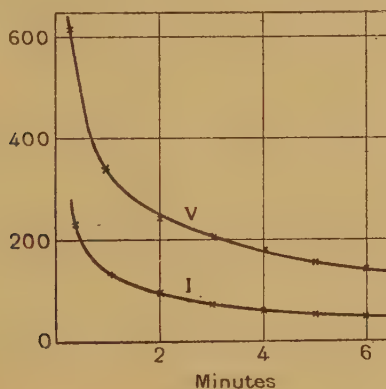


Fig. 21.

La non-proportionnalité de l'intensité à la tension appliquée s'interprète de la même manière : la somme des chutes de potentiel au contact des électrodes n'est pas proportionnelle à la tension appliquée ; elle croît en général un peu moins vite que cette tension, de sorte que la f. e. m. provoquant le passage des charges et déterminant l'intensité croît un peu plus vite que la tension totale ; on a là l'explication

de la forme des courbes de l'intensité en fonction de la tension, chapitre III.

Les résultats exposés chapitre III doivent donc être considérés comme des conséquences immédiates de ceux qui ont fait l'objet du chapitre IV.

Quant à l'émission elle-même, avec les caractères qu'on lui connaît, son explication théorique est simple si l'on admet qu'elle est due à la grande variation de vitesse qu'éprouvent les électrons franchissant la brusque différence de potentiel au contact pastille-électrode, c'est-à-dire si l'on admet l'explication déjà donnée par M. Reboul pour les cellules constituées par une feuille de papier entre deux points de laquelle on crée une différence de potentiel. « Tout se passe comme si les charges mises en jeu par le courant provoquaient l'apparition de chutes de potentiel aux points où il y a discontinuité de résistance, par suite soit de la présence de rayures, soit de l'existence d'hétérogénéités ».

Avec le dispositif employé : pastille appliquée sur une grille, les phénomènes dus aux hétérogénéités intérieures de la pastille ne sont pas décelés en raison de la faible pénétration du rayonnement qui peut en résulter : la seule discontinuité à considérer, le seul point singulier du circuit est le contact pastille-grille et seuls les phénomènes électriques qui se produisent en ce point peuvent nous éclairer sur le mécanisme de l'émission ⁽¹⁾.

Or nous venons de voir qu'à ce point de vue les diverses substances étudiées se comportent de façons différentes.

Les unes ressemblent à des conducteurs métalliques de très grande résistivité. Elles obéissent à la loi d'Ohm. La

(1) Dans les premières expériences de M. Reboul l'émission était toujours le plus intense aux contacts électrode-cellule. On peut dire en admettant l'explication ci-dessus que les hétérogénéités et les rayures se comportaient comme des électrodes secondaires.

courbe de distribution des potentiels du circuit qui les contient présente un point anguleux à l'entrée et à la sortie de ces grandes résistances, mais en aucun point il n'y a de chute brusque de potentiel au contact. Or, aucun rayonnement ne peut être décelé au voisinage de ces contacts.

Les autres substances étudiées présentent aussi une grande résistivité, mais l'intensité qui les traverse dans des conditions données s'affaiblit rapidement et la courbe de distribution des potentiels met en évidence des chutes importantes au contact des électrodes. Or, au voisinage des contacts où se produisent ces chutes brusques de potentiel l'électrode collectrice recueille des ions produits par le rayonnement très absorbable qui est émis.

Comme on l'a dit, la nature de la substance n'intervient pas seule dans l'existence ou l'absence de ces chutes : le sens du courant a aussi son influence ainsi que le montre le cas très typique du carbonate de cuivre, dont l'étude à ce point de vue a été reprise un grand nombre de fois ⁽¹⁾.

L'émission accompagne donc toujours une discontinuité de potentiel et ne se produit pas sans cette discontinuité. Il paraît donc naturel de faire jouer à ces chutes de potentiel aux électrodes un rôle essentiel dans le mécanisme de l'émission du rayonnement.

Peut-on expliquer par là les particularités du caractère essentiel de la radiation qu'exprime le coefficient d'absorption ?

On a établi, chapitres I et II, que la radiation devient plus pénétrante avec le temps, or ceci est en relation avec ce fait que la chute de potentiel qui la provoque augmente elle-même en général avec le temps : la variation avec le temps

(1) Ce fait est à rapprocher d'un autre (M. BLANC, *Thèse*, Paris, 1905) d'après lequel si 2 fils étant au contact, l'un est fin et l'autre gros, la sensibilité à la cohérence est plus grande pour une même intensité quand le courant passe du fil fin au fil gros.

du coefficient μ dans l'air a lieu en effet dans le sens des λ décroissants c'est-à-dire des potentiels de projection croissants (pour la région étudiée dans les gaz par M. Holweck).

On explique de la même manière la variation de μ avec la tension appliquée.

On serait ainsi conduit à admettre que dans le spectre certainement complexe des radiations émises, une augmentation du potentiel de projection des charges entraîne une modification telle qu'apparaissent de nouvelles radiations plus pénétrantes ou, tout au moins, que la pénétration moyenne est augmentée.

Dès lors on peut penser que pour des chutes de potentiel de plusieurs centaines de volts, on doit trouver dans le spectre des radiations beaucoup plus pénétrantes que la moyenne déjà mesurée.

Pour étudier de plus près cette question, j'ai repris la mesure de l'absorption par des pellicules de celluloïd.

Préparation des pellicules de celluloïd. — J'ai utilisé, pour préparer les dissolutions de celluloïd, de l'alcool nouvellement distillé, le cœur de la distillation étant seul employé et de l'éther anhydre, distillé après digestion sur du sodium. Dans 100 cm³ du mélange à volumes égaux des deux liquides, j'ai fait dissoudre 0 g. 2 de celluloïd. La dissolution ainsi préparée contient 2×10^{-3} g. de la substance par cm³. Ce volume de 1 cm³ correspond à 66 gouttes de la pipette utilisée dans la suite. Chaque goutte contient donc 3×10^{-5} g. de celluloïd, correspondant à un volume de 2×10^{-5} cm³ (densité du celluloïd = 1,5).

La solution est répandue sur du mercure très propre, à l'intérieur d'un anneau de fer, et la répartition se fait sur une surface de 3 cm².

L'épaisseur moyenne de la pellicule obtenue avec une goutte est donc $0,67 \times 10^{-5}$ cm. En réalité, j'ai dû verser au moins deux gouttes pour obtenir des pellicules utilisables.

Pour soulever la pellicule, j'ai passé par-dessous, au sein du mercure, une grille de fer dont les mailles mesurent environ 2 mm. de côté. En soulevant cette grille avec précaution, elle entraîne la pellicule sans la déchirer.

Les couleurs des pellicules très minces sont difficiles à apprécier, mais à partir de $2,60 \times 10^{-5}$ cm., leur comparaison avec les indications des tables a confirmé les résultats du calcul de leur épaisseur.

J'ai toujours opéré avec le même liquide, la même pipette et le même anneau de fer, les épaisseurs doivent être considérées comme proportionnelles au nombre de gouttes employées.

Appareil. — L'appareil utilisé est celui qui a été décrit chapitre I^{er}. Le dispositif de la grille seul a reçu quelques

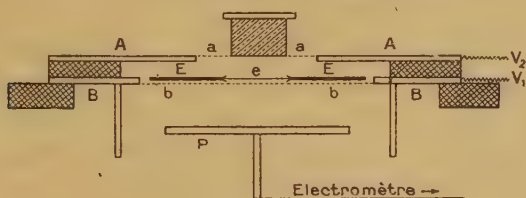


Fig. 22.

modifications. La pastille repose encore sur une grille *aa* qui ferme une fenêtre pratiquée dans la plaque *AA*. Une seconde plaque *BB*, isolée de la première, porte également une grille *bb* soudée à sa face inférieure. Un écran *EE* (fig. 23) qui peut



Fig. 23.

glisser sur cette dernière, porte deux ouvertures de mêmes dimensions dont l'une est fermée par une pellicule de celluloïd. Cet écran peut de l'extérieur recevoir un mouvement de translation (d'avant en arrière du plan de la figure) qui permet de substituer exactement et à volonté l'une des ouvertures à l'autre.

La plaque B repose sur des cales d'ébonite qui l'isolent de l'enceinte métallique au sol. Une batterie d'accumulateurs, permet de la porter à un potentiel V_1 connu qui détermine le champ extracteur entre l'électrode collectrice P et la grille *bb*.

A est également porté à un potentiel V_2 , différent de celui de B, ce qui crée un champ entre A et B capable de rabattre sur l'une ou l'autre grille les ions se formant dans leur intervalle.

Enfin, entre A et la partie supérieure de la pastille, on crée une tension d'où résulte l'émission du rayonnement.

Le faisceau de radiations à étudier traverse donc tout d'abord une couche d'air de 3 mm. environ, puis, suivant la position de l'écran mobile, il pénètre au delà de la grille *bb*, directement dans la chambre d'ionisation, ou bien il traverse, avant d'y pénétrer une pellicule de celluloïd *e*.

Il est possible de comparer les intensités dans ces deux conditions. Le plateau extracteur P est placé assez loin, 1 cm. environ pour que l'absorption soit complète dans la chambre d'ionisation.

Résultats. — *Première série de mesures.* — L'appareil étant disposé comme on vient de le décrire, on soumet la pastille à une tension donnée et l'on fait des mesures croisées de l'intensité du faisceau qui traverse la grille *bb* avec ou sans interposition d'écran. On peut tracer, comme au chapitre I^{er}, les courbes de ces intensités en fonction du temps et obtenir le coefficient d'absorption dans la pellicule considérée.

A travers des pellicules de celluloid de $2,7 \times 10^{-5}$ cm., pour le rayonnement émis par une pastille d'oxyde jaune de mercure sous une tension de 1400 volts, et le rayonnement étant déjà filtré par une couche d'air de 3 mm. j'ai trouvé :

$$\frac{\mu}{\rho} = 0,9 \times 10^5.$$

Avec une pastille de carbonate de cuivre dans les mêmes conditions :

$$\frac{\mu}{\rho} = 0,97 \times 10^5.$$

La même substance, CO^3Cu , sous une tension de 1 900 volts conduit au résultat $0,9 \times 10^5$, or, dans ce cas la chute de potentiel au contact est plus grande que précédemment.

Le sulfate mercurique donne des résultats du même ordre.

L'influence de la durée du fonctionnement de la cellule se fait sentir assez nettement.

CO^3Cu sous 1 100 volts donne pendant les 5 premières minutes une valeur moyenne de $\frac{\mu}{\rho} = 1 \times 10^5$, et dans la suite une valeur plus faible, $0,95 \times 10^5$, variation en relation avec la chute de potentiel au contact, qui croît avec le temps comme on l'a dit.

Ainsi le coefficient moyen d'absorption par le celluloid diminue quand la différence de potentiel qui provoque le rayonnement augmente, soit qu'on applique une tension plus grande, soit que l'on prolonge la durée de l'émission.

Il semble bien que l'on se trouve dans la région correspondant à la première branche de la courbe de M. Holweck qui se rapporte à $\lambda < 300$ U. A.

Ces résultats ne sont qu'une moyenne pour l'ensemble des radiations qui arrivent sur *bb* et pour l'épaisseur donnée de celluloid. ⁽¹⁾

Je me suis attaché à mettre en évidence les radiations les plus pénétrantes pour en mesurer l'absorption et voir à quel potentiel de projection correspondent les résultats.

Pour cela j'ai fait des mesures analogues pour des pellicules d'épaisseurs différentes.

$$\begin{aligned}x &= 1,35 \times 10^{-5} \text{ cm.} \\2\ x &= 2,70 \times 10^{-5} \\3\ x &= 4,05 \times 10^{-5}\end{aligned}$$

avec 3 écrans portant ces pellicules.

Les intensités transmises diminuent, comme il faut s'y attendre, quand augmente l'épaisseur traversée. On trouve par exemple : pour CO^3Cu sous tension 1500 volts.

Epaisseurs traversées	Intensités (Unités arbitraires)
$1,35 \times 10^{-5} \text{ cm.}$	266
$2,70 \times 10^{-5}$	216
$4,05 \times 10^{-5}$	177

Considérons le filtre d'épaisseur $3\ x$ et supposons cette épaisseur partagée en 3 couches parallèles et égales, de chacune $1,35 \times 10^{-5} \text{ cm.}$

$1,35 \times 10^{-5}$	_____	
$1,35 \times 10^{-5}$	_____	266
$1,35 \times 10^{-5}$	_____	216
$1,35 \times 10^{-5}$	_____	177

On peut dire que la première épaisseur joue le rôle d'un

(1) Les expériences de M. Reboul sur les cellules de papier avaient donné, pour le coefficient massique $\frac{\mu}{\rho}$ relatif au celluloid la valeur moyenne $1,2 \times 10^3$. Les cellules de papier ne supportaient que des différences de potentiel de quelques centaines de volts, tandis que les pastilles que j'ai employées ont été soumises à des tensions plus élevées.

filtre et que l'intensité qui traverse la seconde passe de la valeur incidente 266 à la valeur 216. De même le faisceau filtré par les deux premières épaisseurs passe, en traversant la troisième de 216 à 177.

Le calcul du coefficient massique ($\rho = 1,5$ pour le celluloïd) donne :

Pour la deuxième épaisseur : $\frac{\mu}{\rho} = 0,103 \times 10^5$

Pour la troisième épaisseur : $\frac{\mu}{\rho} = 0,097 \times 10^5$

Ces nombres sont très inférieurs à ceux qui précèdent et il faut admettre qu'il existe dans le faisceau incident des radiations beaucoup plus pénétrantes que ne l'indique la valeur moyenne du coefficient d'absorption déterminé pour tout le faisceau.

Ces radiations, d'après les chiffres de M. Holweck correspondraient à une longueur d'onde de l'ordre de 75 U. A. et à un potentiel de projection dans le vide de 160 volts.

Les nombres précédents ne sont, eux-mêmes, que des moyennes et on peut penser que, parmi les radiations les plus pénétrantes, il en est dont la longueur d'onde est inférieure à la valeur précédente et qui peuvent correspondre à des électrons d'une vitesse de l'ordre de 200 volts.

L'oxyde jaune de mercure a donné des résultats analogues.

Deuxième série de mesures. — On place au-dessous de la grille *aa* une première pellicule fixe servant de filtre, de sorte que la radiation tombant sur la grille *bb* a traversé ce filtre et aussi une couche d'air de 3 mm. L'écran mobile est utilisé comme précédemment.

Avec une cellule de sulfate mercurique, le champ de courant étant 900 volts, le filtre ayant une épaisseur de $2,7 \times 10^{-5}$ cm. et la pellicule portée par l'écran également $2,7 \times 10^{-5}$ cm.; on trouve :

Intensité incidente sur *bb* = 20.

Intensité transmise par la deuxième pellicule = 11.

Le calcul conduit à : $\frac{\mu}{\rho} = 0,15 \times 10^5$.

Correspondant, d'après M. Holweck à $\lambda = 94$ U. A.

Vitesse de projection $V = 130$ volts environ.

Avec une cellule de CO^3Cu , qui supporte facilement de hautes tensions, le champ de courant étant 1700 volts et l'épaisseur commune des pellicules $2,7 \times 10^{-5}$ cm., on trouve :

Intensité incidente	120
Intensité transmise	93

d'où :

$$\frac{\mu}{\rho} = 0,063 \times 10^5$$

$$\lambda = 60 \text{ U. A.}$$

$$V = 200 \text{ volts.}$$

Avec la même cellule, dans les mêmes conditions, mais avec une tension de 2070 volts, l'intensité est réduite par le deuxième écran dans le rapport de 105 à 125.

d'où :

$$\frac{\mu}{\rho} = 0,043 \times 10^5$$

$$\lambda = 52 \text{ U. A.}$$

$$V = 230 \text{ volts}$$

L'observation faite plus haut s'applique encore ici, les nombres obtenus ne sont que des moyennes et les radiations les plus pénétrantes du faisceau ont probablement une longueur d'onde inférieure à 50 U. A.

Ces résultats conduisent à admettre que dans le spectre complexe des radiations émises dans les conditions qui ont fait l'objet de ce travail, il existe, mais concourant pour une faible part à l'intensité totale, des radiations beaucoup plus pénétrantes que ne le laisse prévoir la mesure du coefficient moyen d'absorption de l'ensemble. On peut y mettre en évi-

dence des radiations dont la longueur d'onde est de l'ordre de 50 U. A. *et le potentiel de projection correspondant est de l'ordre de grandeur des chutes importantes de potentiel au contact que l'on a mises en évidence chapitre IV.*

La pénétration augmente quand augmente la différence de potentiel appliquée, c'est-à-dire, corrélativement, la chute brusque au contact des électrodes.

CONCLUSIONS

1^o L'étude de la pénétration dans l'air des radiations émises par les corps mauvais conducteurs, de constitution hétérogène et plus spécialement au contact de ces corps et d'une électrode métallique montre que le faisceau est très complexe, le coefficient d'absorption variant de 5 à 15 unités, pour les mesures faites dans l'air à la pression ordinaire (1). Toutes choses égales d'ailleurs, la pénétration moyenne augmente avec le temps et aussi avec la tension appliquée.

2^o Tandis que les cellules de papier tout d'abord utilisées supportent difficilement, sans se rompre, des tensions de quelques centaines de volts, on a pu essayer, sous des tensions très supérieures des cellules à résistance constituées par des poudres agglomérées et obtenir des radiations plus pénétrantes. Aucune relation n'a pu être établie entre la constitution chimique des substances essayées et la propriété d'émettre le rayonnement. Les sulfates et quelques oxydes ont donné les meilleurs résultats. Il convient de mentionner le cas du carbonate de cuivre qui n'émet qu'au contact d'une électrode négative.

La pénétration moyenne du rayonnement pour ces cellules augmente encore avec le temps et avec la tension appliquée. Ce rayonnement est de même nature que celui des cellules de papier, et en possède tous les caractères.

3^o L'émission est corrélative d'une diminution rapide en fonction du temps de l'intensité qui traverse les cellules et de

(1) Il existe aussi dans le faisceau des radiations mises en évidence par M. Reboul dont le coefficient d'absorption est de l'ordre de plusieurs centaines d'unités (V. note fin du ch. I).

la non-proportionnalité de l'intensité limite avec la tension appliquée.

4° L'étude de la distribution des potentiels montre que l'émission est toujours corrélative aussi d'une discontinuité qui se produit au contact de la substance et de l'électrode métallique, ou tout au moins dans une couche de très faible épaisseur voisine de ce contact. Ces chutes augmentent avec le temps, d'abord assez rapidement puis atteignent une valeur limite. Elles augmentent aussi avec le champ de courant.

5° Si l'on admet que ces chutes de potentiel aux électrodes jouent un rôle essentiel dans le mécanisme de l'émission, on peut coordonner l'ensemble des faits expérimentaux précédents.

a) Certains corps, comme le carbonate de cuivre et le chromate de mercure, le sulfate mercurieux et le sulfate mercurique qui ne présentent la discontinuité de potentiel qu'au contact d'une seule électrode, émettent seulement au contact de cette électrode ;

b) Les variations de l'intensité qui traverse les cellules s'expliquent immédiatement par la diminution progressive du champ qui provoque le déplacement des charges ;

c) Le rayonnement devient moins intense avec le temps ; or, son intensité totale varie vraisemblablement dans le même sens que l'intensité du courant qui diminue comme on vient de le dire ;

d) Le rayonnement devient plus pénétrant avec le temps ; or, avec le temps, augmentent les chutes de potentiel au contact qui déterminent la projection des charges ;

e) Il devient plus pénétrant quand on augmente le champ de courant, or les discontinuités sont elles-mêmes augmentées ;

f) Le rayonnement est complexe : il doit comprendre, en effet, des radiations dont la plus courte longueur d'onde correspond au potentiel maximum de projection des électrons et des radiations de longueur d'onde plus grande, for-

mant un véritable spectre : ces radiations inégalement absorbables peuvent être filtrées et on en peut isoler les plus pénétrantes;

g) L'étude du rayonnement filtré par des pellicules très minces de celluloïd met en évidence l'existence, en faible proportion dans le spectre, de radiations beaucoup plus pénétrantes que ne l'indique la valeur du coefficient moyen d'absorption. La mesure du coefficient propre à ces radiations permet de leur assigner une longueur d'onde de l'ordre de 50 U. A. à laquelle correspond un potentiel de projection de l'ordre de grandeur des discontinuités que l'on a constatées directement.

Le mécanisme de l'émission par les cellules de résistance n'est donc pas différent de celui des rayons de Röntgen.

APPENDICE

Les conclusions précédentes sont confirmées par les travaux de M. Reboul qui ont fait l'objet d'une communication à la Société Française de Physique, séance du 1^{er} mai 1925.

a) Les coefficients d'absorption par l'air sous une pression passant de 2 à 3 mm. varient de 10 à 500 environ. Ceci montre que le rayonnement émis par les cellules de résistance est formé d'un grand nombre de radiations, et si l'on compare les valeurs trouvées pour les coefficients d'absorption à celles qu'a données M. Holweck, on est amené à conclure que les radiations émises ont des longueurs d'onde s'échelonnant entre 40 et 200 U. A.

Les expériences faites dans l'hydrogène amènent à la même conclusion.

b) En plus des radiations dont il vient d'être question, les cellules de résistance émettent des rayons cathodiques ou des rayons anodiques suivant le sens du champ établi entre leurs électrodes.

Si l'on détermine la vitesse de ces rayons cathodiques au moyen d'un champ antagoniste à des pressions de l'ordre de 1/100 de mm. de mercure; on trouve que les électrons émis par la cellule ont des vitesses s'échelonnant suivant le cas entre quelques dizaines et *quelques centaines de volts*.

Dans la couche où se produit la chute de potentiel déjà mise en évidence, les électrons prennent des vitesses qui s'échelonnent, suivant la répartition de leurs chocs sur les molécules, de zéro à quelques centaines de volts. Une partie de ces électrons s'échappe dans le milieu environnant, les autres sont arrêtés : ce sont ces derniers qui produiraient l'émission des radiations, et l'on obtiendrait dans cette hypothèse des radiations dont les longueurs d'onde seraient comprises entre quelques centaines et quelques dizaines d'angströms

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Les rayons X et l'analyse chimique.

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 19 Mai 1926.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

M. MOLLIARD.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

P. LAPIE.

